

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Kataforetické lakování automobilových součástí

## Cataphoretic Painting of Automobile Parts

Student: Lukáš Havelka

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ostrava 2010

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20.5.2010



podpis studenta

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Havelka**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Specializace: **70 Strojírenská technologie**  
Téma: **Kataforetické lakování automobilových součástí**  
**Cataphoretic Painting of Automobile Parts**

Zásady pro vypracování:

1. Zhodnocení současného stavu, možnosti využití-typy.
2. Princip vylučování katoforetických povlaků.
3. Návrh technologického postupu lakování automobilových součástí.
4. Vyhodnocování fyzikálních a mechanických vlastností KTL povlaků.
5. Zhodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


PRŮŠEK, J. a kol. *Hodnocení jakosti a účinnosti protikorozních ochranných povlaků strojírenských výrobků*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985, 288 s.  
<http://referaty.atlas.sk/ostatne/nezaradene/31837/kataforeticke-lakovanie>  
PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav*. I. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1997, 76 s.  
MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995, 251 s.  
MOHYLA, M. *Strojírenské materiály*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1987, 143 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Kristofory, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

  
prof. Ing. Jiří Mrubý, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo;
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce;
- Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její i mé strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2010



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Havelka

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jánošíkova 9, Křelov



# ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HAVELKA, L. *Kataforetické lakování automobilových součástí: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2010, 68 str. Vedoucí práce: doc. Ing. František Kristofory, CSc.

Ve své práci se zabývám kataforetickým lakováním, které lze kombinovat s dalšími způsoby ochrany automobilových součástí. K ochraně proti korozi můžeme například využít nanesení povlaku zinku a jeho slitin (buď ponorem, nebo elektrolyticky) na výrobek a poté takto upravený povlak chránit kataforetickým lakováním. Svou práci jsem rozdělil do 6 kapitol. V první popisuji metody ochrany proti korozi, srovnávám výhody a nevýhody těchto metod. Ve druhé se již zaměřuji na princip vylučování kataforetických povlaků a ve třetí teoreticky popisuji postup lakování. Hlavní částí mé práce je experiment, ve kterém jsem na vzorcích nejdříve provedl cyklickou korozní zkoušku v solné komoře, následně vyhodnotil otěruvzdornost zkoušených vzorků a v závěru práce zkontroloval tloušťku nanesené vrstvy povlaku. Na základě těchto měření jsem porovnal získané údaje a určil vzorek s nejlepšími tribologickými a korozními vlastnostmi.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HAVELKA, L. *Cataphoretic Painting of Automobile Parts: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2010, 68 p. Thesis head: doc. Ing. František Kristofory, CSc.

My bachelor thesis deals with cataphoretic painting, which can be combined with other methods of corrosion protection of automobile parts. To provide the corrosion protection we can apply a coat of zinc and its alloys (either dipping or electrolytic way) on the protected product and then, in this way modified coat can be protected by cataphoretic painting. My thesis consists of 6 chapters. In chapter one I describe methods of corrosion protection and I compare advantages and disadvantages of these. In chapter two I focus on the principle of the precipitation of cataphoretic coats, and in chapter three I give a theoretical description of the technological process of cataphoretic painting. The main part of my thesis is an experiment, when I first made a cyclical corrosion test in a salt chamber, then I evaluated the abrasion resistance of tested samples and finally I checked the thickness of the applied layer of coat. On the basis of these measurements I compared acquired data and I chose the sample with the best tribological and corrosion properties.

# Obsah

Seznam značek, symbolů a zkratk .....	6
1 Úvod.....	7
2 Metody ochrany automobilových součástí .....	8
2.1 Metoda žárového zinkování .....	8
2.2 Metoda lakování .....	9
2.3 Metoda galvanického zinkování.....	10
3 Princip vylučování kataforetických povlaků.....	12
3.1 Elektroosmotická teorie kataforézy .....	12
3.2 Iontová teorie kataforézy .....	13
4 Technologický postup lakování automobilových součástí .....	14
4.1 Úprava povrchu materiálu před nanesením ochranné vrstvy:.....	15
4.1.1 Odmašťování v alkalických lázních ponorem .....	15
4.1.2 Tryskání.....	18
4.1.3 Moření .....	20
4.1.4 Elektrolytické odmašťování .....	21
4.1.5 Oplach studenou a teplou vodou.....	23
4.1.6 Sprchový oplach součástí .....	23
4.1.7 Oplach součástí v míchané lázni.....	23
4.2 Aktivace povrchu.....	24
4.3 Fosfátování.....	24
4.4 Pasivace povrchu .....	26
4.5 Oplach demineralizovanou vodou .....	27
4.6 Odvedení přebytečné vody.....	28
4.7 Vypálení povlaku.....	28
4.8 Kataforetické lakování.....	29

4.9	Třístupňový postřikový oplach ultrafiltrátem .....	30
5	Cíle a popis experimentů včetně jejich vyhodnocení .....	32
5.1	Specifikace a popis zkoumaných vzorků .....	32
5.2	Technologický postup povlakování jednotlivých vzorků .....	32
5.2.1	Povlakování vzorku Ofi-x632 .....	32
5.2.2	Povlakování vzorku Ofi-x630 .....	33
5.2.3	Povlakování vzorku Ofi-s611 .....	33
5.3	Zkouška otěruvzdornosti povlaku .....	34
5.4	Vyhodnocení zkoušky otěruvzdornosti povlaku .....	39
5.4.1	Otěruvzdornost vzorku Ofi-x630 .....	39
5.4.2	Otěruvzdornost vzorku Ofi-x632 .....	40
5.4.3	Otěruvzdornost vzorku Ofi-x611 .....	42
5.4.4	Srovnání naměřených hodnot .....	42
5.4.5	Vyhodnocení testu otěruvzdornosti .....	44
5.5	Korozní zkouška v solné komoře .....	44
5.5.1	Korozní napadení vzorku Ofi-x630 .....	46
5.5.2	Korozní napadení vzorku Ofi-x632 .....	46
5.5.3	Korozní napadení vzorku Ofi-s611 .....	47
5.5.4	Vyhodnocení testu v solné komoře .....	48
5.6	Hmotnostní nárůst vzorků vlivem koroze .....	48
5.6.1	Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x630 .....	49
5.6.2	Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x632 .....	50
5.6.3	Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-s611 .....	51
5.6.4	Vyhodnocení hmotnostních nárůstů vzorků .....	52
5.7	Kontrola tloušťky povlaku .....	52
5.7.1	Příprava vzorků .....	52
5.7.2	Vlastní měření tloušťek povlaků jednotlivých vzorků .....	55

6 Závěr .....	59
Seznam pramenů a literatury .....	63
Seznam obrázků .....	65
Seznam tabulek .....	67
Seznam grafických závislostí .....	68

## Seznam značek, symbolů a zkratek

Symbol (značka, zkratka)	Jednotka	Název
a	$\mu\text{m}^2$	vnitřní plocha vtisku
d	$\mu\text{m}$	vnitřní průměr vtisku
h	$\mu\text{m}$	průměrná hloubka kulového vrchlíku
$h_1$	$\mu\text{m}$	průměrná hloubka kulového vrchlíku střed
l	$\mu\text{m}$	vnitřní průměr mezikruží kaloty
p	$\mu\text{m}$	vnitřní obvod vtisku
ph	-	kyselost prostředí
s	$\mu\text{m}$	tloušťka povlaku nad maximální nerovností povrchu
t	$\mu\text{m}$	tloušťka povlaku
A	$\mu\text{m}^2$	vnější plocha vtisku
D	$\mu\text{m}$	vnější průměr vtisku
$D_0$	mm	průměr kuličky
L	$\mu\text{m}$	střední průměr kulového vrchlíku
P	$\mu\text{m}$	vnější obvod vtisku
Ra	$\mu\text{m}$	střední aritmetická hodnota drsnosti povrchu
RH	%	relativní vlhkost
Rm	$\mu\text{m}$	maximální výška nerovnosti
ATL	-	anaforetické lakování (anaforéza)
KTL	-	kataforetické lakování (kataforéza)
PPG	-	Pittsburg Plate Glass

# 1 Úvod

Jedním ze závažných problémů automobilového průmyslu je koroze, která bývá definována jako postupné samovolné rozrušení kovových či nekovových materiálů vlivem chemické nebo elektrochemické reakce s okolním prostředím. „V širším smyslu slova mluvíme o korozi při porušování kovů jakýmkoliv chemickými činidly, ať jsou to kyseliny nebo kyselé soli, činidla alkalická, roztoky vodné či jiné, solné taveniny nebo plyny, prvky nebo sloučeniny, látky anorganické či sloučeniny organické. Méně často vztahujeme pojem koroze i na hmoty nekovové.“ [1 str. 25] Účinnou ochranou je povrchová úprava ocelových konstrukcí vozidel. Ta spočívá v nanesení kvalitního povlaku na povrch součásti, který poskytuje dostatečnou ochranu proti korozi a současně zlepšuje vzhled předmětu.

Ve své práci se zabývám kataforetickým lakováním, které lze kombinovat s dalšími způsoby ochrany automobilových součástí. K ochraně proti korozi můžeme například využít nanesení povlaku zinku a jeho slitin (buď ponorem, nebo elektrolyticky) na výrobek a poté takto upravený povlak chránit kataforetickým lakováním. V první kapitole popíši metody ochrany proti korozi, srovnám výhody a nevýhody těchto metod. Ve druhé se zaměřím na princip vylučování kataforetických povlaků a ve třetí teoreticky popíši postup lakování. Hlavní částí mé práce bude experiment, ve kterém na vzorcích provedu cyklickou korozní zkoušku v solné komoře, následně vyhodnotím otěruvzdornost zkoušených vzorků a v závěru práce zkontroluji tloušťku nanesené vrstvy povlaku. Na základě těchto měření porovnáím získané údaje a určím vzorek s nejlepšími tribologickými a korozními vlastnostmi.

Téma, které jsem si zvolil pro svou bakalářskou práci, není v literatuře dostatečně popsáno. Dostupné byly pouze odborné články. Jediná odborná publikace k tématu, kterou jsem při psaní mohl využít, je z roku 1952. Tato publikace popisuje pouze teorie kataforézy, nezabývá se však vlastním postupem lakování. Právě tato skutečnost mě vedla k zaměření práce na málo zmapovanou problematiku a na základě provedeného experimentu stanovím nejvhodnější postup ochrany automobilových součástí KTL povlaky.

## 2 Metody ochrany automobilových součástí

Ochrana automobilových součástí se provádí jejich povrchovou úpravou – nejčastěji vytvořením povlaku s ochrannými vlastnostmi. Nanesení povlaku lze dosáhnout metodou žárového zinkování, galvanickým zinkováním, metodou lakování nebo kombinací galvanického zinkování a lakování.

### 2.1 Metoda žárového zinkování

Při metodě žárového zinkování je povlak tvořený vrstvou zinku nanesen na povrch ocelových konstrukcí vozidel. Zinkování se provádí ponořením součásti do lázně s roztaveným kovem. Používá se pracovní teploty nad 500 °C, při níž je dosaženo poměrně kvalitního spojení povrchové vrstvy se základním kovem. I když touto metodou dosahujeme dobré korozivzdornosti při nižších výrobních nákladech, přináší také některá zásadní úskalí.

Nejpodstatnější z nich je nutnost použití van s roztaveným zinkem takových rozměrů, které umožňují ponoření celé konstrukce. Proto se konstrukce určené k žárovému zinkování nevyrábí ve formě větších svařenců nebo svařenců v prostorovém uspořádání, což by bylo v automobilovém průmyslu potřebné. Při konstrukci rámu vozidla je tedy nezbytné rozdělit rám do jednotlivých nosníků, které se do vany vejdou, a po zinkování teprve provést jejich spojení.

Druhým úskalím je skutečnost, že zinková vrstva znemožňuje provedení plnohodnotného svarového spoje, proto nelze pro spojení součástí použít technologii svařování. Je tedy nutné nahradit tyto postupy využitím spojovacích elementů (šroubů, nýtů), které zastoupí svarové spojení. Během používání vozidla dochází k provozním deformacím způsobených statickým, a zvláště pak dynamickým namáháním, v jejichž důsledku může docházet k uvolnění původně pevných spojů a k vzájemnému pohybu částí rámu vůči sobě. Tím vznikají ve spojích nepravidelné otvory, jejichž oprava je velmi problematická i při použití nových spojovacích prvků.

Nepříjemným efektem je možnost vzniku deformací v důsledku tepelného pnutí. Konstrukce musí být speciálně navržena, aby ponoření do roztaveného kovu vydržela a neměnila své pevnostní či tvarové vlastnosti. Nedostatkem tohoto způsobu nanášení povrchové vrstvy je i fakt, že zinek má hmotnost srovnatelnou s železem, zatěžuje tedy konstrukci vozidla hmotností mnohem větší, než je tomu v případě laku.

Tekutý rozžhavený zinek musí mít při vytahování z lázně možnost vytéci ze všech koutů a záhybů konstrukce a na povrchu má ulpět jen co nejmenší vrstva. Z tohoto důvodu je třeba konstrukci vhodně upravit a vytvořit v ní technologické otvory. Zinek nevytváří zcela homogenní a rovnoměrnou vrstvu na povrchu součásti. V důsledku mikronerovnosti v povrchu konstrukce může docházet k ulpívání nečistot a chemických látek, které vzniklou vrstvu postupně rozrušují.

Při jízdě autem odletují drobné kamínky, což vede k mechanickému poškození chránící povrchové vrstvy. Porušení zinkové vrstvy v místech poškození zvyšuje náchylnost ke korozi základního materiálu. Zkorodované části na povrchu součásti lze jen velmi těžko opravit, zbarvení u postižených míst je odlišné od základního materiálu. Povrch, chráněný zinkem, má vždy šedostříbřitou barvu s typickými „mapami“ po tuhnutí zinku, který mnohdy časem získává nerovnoměrně zašedlý matný odstín, s nímž prakticky nelze pro zlepšení vzhledu vozidla nic udělat. [2]

## **2.2 Metoda lakování**

Metoda lakování je klasickou povrchovou úpravou, poskytující jak dostatečnou ochranu proti korozi, tak i efektně hladký lesklý povrch vybraného odstínu. Hlavní předností lakování je oproti žárovému stříkání možnost výběru barevného odstínu laku dle konkrétních požadavků. U lakování lze využít svařované konstrukce, což představuje ve výsledku vyšší pevnost, snadnou opravitelnost a renovaci povrchového nátěru. V případě výskytu prasklin nebo lomů se konstrukce jen znovu svaří a svařené místo se opatří základovým a krycím lakem stejného odstínu, jako je původní lak vozidla. V úvahu je třeba brát i fakt, že povrch chráněný lakem hmotnostně nezatěžuje konstrukci vozidla takovým způsobem jako zinková vrstva. Rozdíl hmotnosti může být v řádech stovek kilogramů, což jistě není zanedbatelné. Kromě vyjmenovaných předností má postup metody lakování i několik nevýhod. Největšími z nich jsou především vysoké nároky na dodržení technických parametrů a pořizovací náklady technologických zařízení. [2]

### **Kataforetické lakování**

Progresivní variantou lakování je katodové nanášení nátěrových hmot máčením (kataforéza). Vodou ředitelné povlaky byly vyvíjeny od padesátých let 20. století s cílem nahradit běžné organické povlaky rozpustitelné ve vodě. Jejich hlavní výhodou byla nehořlavost a nejedovatost. Tyto povlaky se staly základem pro elektrolytické pokovování, ve kterém záporně nabitě částice barvy (anafóréza, která byla do průmyslu zavedena v šedesátých letech 20. století), nebo pozitivně nabitě částice barvy (kataforéza, která byla



do průmyslu zavedena na konci sedmdesátých let 20. století) jsou nanášeny z vodního roztoku na kovový základ aplikací elektrického pole. Kataforetické lakování je dnes využíváno nejen v automobilovém průmyslu, díky němuž se do značné míry rozvinulo, ale i při výrobě motocyklů, jízdních kol, domácích spotřebičů (praček, ledniček), stavebních a zemědělských strojů, kovového nábytku (skladovacích polic), radiátorů, elektrických přístrojů a traktorů. [3]

### **Historie kataforetického lakování**

Proces elektropovlakování byl poprvé zaveden do sériové výroby kolem roku 1965. Systémy tehdy fungovaly na principu anodického vylučování částic barvy z elektrolytu (princip ATL – tzv. anafóréza). Při tomto způsobu byla lakovaná součást připojena jako anoda a po připojení elektrického napětí se na ní začaly vylučovat anionty polymeru. Nevýhodou anafórezы však bylo to, že při vyloučení relativně silných vrstev neposkytovala dostatečnou korozní odolnost. Dalším záporem bylo odbourávání fosfátové vrstvy, poskytující přilnavost mezi kovem a lakem. Později byl firmou Pittsburg Plate Glass (PPG) vyvinut katodický způsob vylučování nátěrových hmot (KTL), který odstraňoval nevýhody anodického způsobu (vylučovala se poměrně nízká vrstva při vysoké korozní odolnosti => dokonalá přilnavost filmu, nedocházelo k žádným nežádoucím vedlejším reakcím). Kataforetický způsob lakování rychle nahrazuje anaforetický způsob a během několika málo let dochází k přestavbě anodických systémů na systémy katodické. Firma PPG v roce 1982 zavádí systém hustých vrstev, který dostává název UNI-PRIME - ten výrazně zlepšuje abrazivní vlastnosti filmu, antikorozní funkci a rozlévací schopnosti (snižují vliv drsnosti podkladu). V roce 1988 jsou vyvinuty tzv. materiály 4. generace, které snižují obsah rozpouštědel pod 1%, zlepšují rozlévací schopnosti, abrazivní vlastnosti za nízkých teplot (-20 °C), elasticitu a flexibilitu vrstvy. [4]

## **2.3 Metoda galvanického zinkování**

Metoda galvanického zinkování je v praxi velmi rozšířená (zinek patří k nejpoužívanějším kovům v oblasti protikorozní ochrany). Způsob galvanického zinkování je založen na elektrolytickém ději, při kterém se na vodivý materiál vylučuje zinkový povlak obvykle tloušťky 8-12 μm. Povlak vzniká rozpuštěním zinku (který plní funkci anody), katodou je povlakovaný materiál. [5]

Při procesu zinkování, který výrazně napomáhá chránit povlakovanou součást proti korozi, mohou vznikat vady v důsledku nevhodně zvoleného technologického postupu. Nejčastějším nebezpečím pro zinkovou vrstvu je vodík, který vniká do upravovaného

materiálu při moření a katodických procesech v elektrolytech (odmašťování). Vodík difunduje do krystalové mřížky, způsobuje zkřehnutí zinkové vrstvy a základního materiálu (oceli) - mluvíme o tzv. vodíkové křehkosti. Ta vede ke změně mechanických vlastností. Vodík lze z materiálu odstranit vhodným tepelným zpracováním. [6]

### 3 Princip vylučování kataforetických povlaků

Roztok pro kataforetické lakování je tvořen rozptýlenými částicemi pevné látky. Ty lze dělit dle velikosti lineárního rozměru na hrubé suspence nebo koloidní roztoky a následně molekulární roztoky. „Lineární rozměry molekul obsažených v obyčejných roztocích jsou řádové velikosti  $1 \times 10^{-8}$  cm až  $10 \times 10^{-8}$  cm, lineární rozměry koloidních částic mají lineární rozměry řádově v rozmezí  $1 \times 10^{-7}$  až  $1 \times 10^{-4}$  cm. Částice hrubých suspensí mají lineární dimenze větší než  $1 \times 10^{-4}$  cm.“ [7 str. 94] Pokud v soustavě, která má částice pevné fáze rozptýlené v kapalně fázi, vznikne elektrické pole, začnou se částice vlivem elektrické síly pohybovat ve směru pole, přičemž orientace pole závisí na znaménku elektrického náboje na povrchu těchto částic. Pohyb částic pevné fáze v roztocích nebo suspenzích za působení elektrické síly je znám jako kataforéza.

Kataforetický jev vychází z četných pokusů o elektrolytický rozklad vody. V roce 1808 Nicholson a Carlisle zjistili, že v U-trubici naplněné vodou, v jejímž ohybu byl nasypán práškovitý křemen, voda při průchodu proudu vystoupala vzhůru v rameni s umístěnou zápornou elektrodou. Křemenný prášek s mezerami mezi částicemi představoval průlinčitou stěnu. V kapilárních prostorech této stěny se uplatňovala elektrická dvojvrstva s elektrokinetickým potenciálem. Tento jev je znám jako elektroosmóza.

Na tento pokus navazovaly pokusy další. Jedním z nich byl experiment, při kterém procházel elektrický proud vodou nalitou do dvou trubic, nasazených na hliněném bloku, který byl pokrytý pískem. Na rozdíl od pokusu prvního již nedošlo k zvednutí hladiny vody, došlo ovšem k postupu částic pevné látky ke kladnému pólu. Tento jev se nazývá kataforéza. [7]

#### 3.1 Elektroosmotická teorie kataforézy

Na rozhraní pevné a kapalně fáze předpokládáme vznik elektrického potenciálu a elektrické dvojvrstvy, jejíž jedna část je uložena v kapalinovém povlaku usazeném na povrchu pevné fáze a druhá část je rozptýlena v přiléhající vrstvě fáze kapalně. Pokud se pevná fáze v kapalině může volně pohybovat, dochází vlivem tangenciální složky elektrické síly k pohybu suspendovaných částic. Smoluchowski popsal, jak probíhá pohyb suspendovaných částic v kapalině za působení elektrického pole. Kapalina zůstává v klidu, volně pohyblivé částice v roztoku se vlivem elektrického pole pohybují. Rychlost pohybu částic není závislá na velikosti částice, ani na jejím tvaru. Budeme-li předpokládat, že

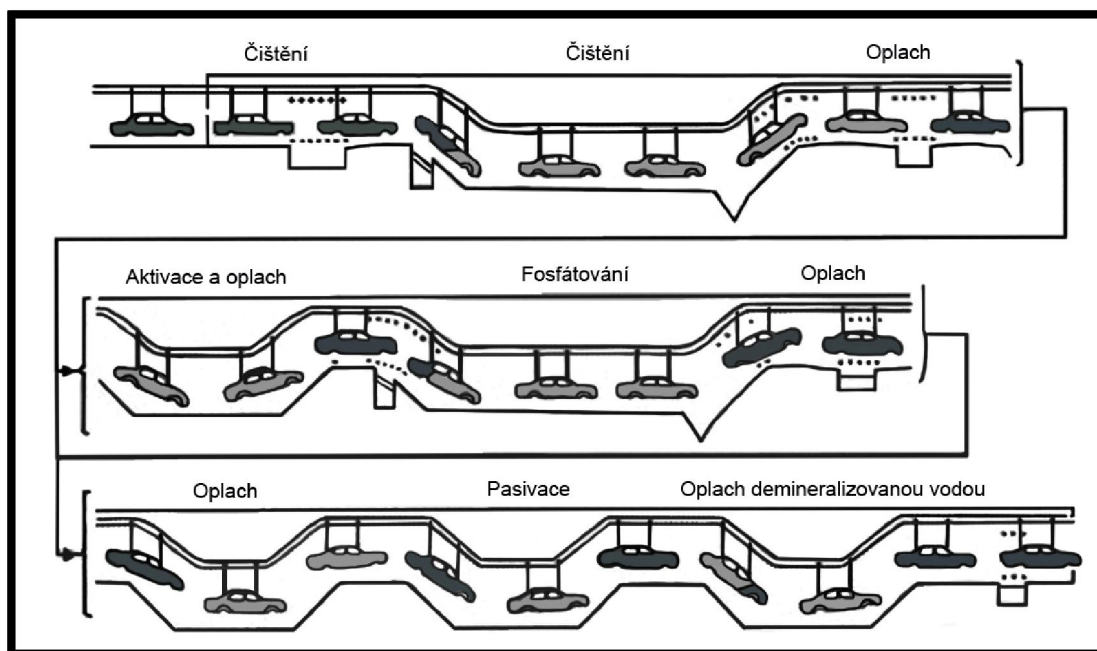
elektrochemický potenciál je závislý pouze na chemické povaze fází, platí, že v jistém rozmezí je rychlost přímo úměrná síle elektrického pole a pohyblivost elektrolytických iontů je stejné řádové velikosti jako pohyblivost suspendovaných částic pevné fáze. Předpokládáme ovšem, že jsou elektrické náboje vnější elektrické dvojvrstvy rozloženy stejnoměrně v určité vzdálenosti rovnoběžné s povrchem částice. [7]

### **3.2 Iontová teorie kataforézy**

Z hlediska této teorie lze o koloidních a suspendovaných částicích uvažovat jako o molekulách elektrolytu, které mají velmi vysokou molekulovou váhu. Molekuly disociují na koloidní ion vysokého mocenství a na skupinu elektrolytických iontů, stejně velkého elektrického náboje, ale opačného znaménka. Kladné koloidy jsou roztoky, u nichž dochází k putování částic pevné fáze v elektrickém poli ke katodě. Skládají se z koloidního kationtu vysokého mocenství, přidružené ionty jsou anionty elektrolytů zastoupených v roztoku.

Dle iontové teorie působí na elektrický náboj iontu (složeného z elementárních elektrických nábojů) v elektrickém poli stálá elektrická síla. Tato síla uvádí iont do zrychleného pohybu, současně proti této síle působí tření kapalného prostředí, kterým je iont brzděn. Třecí síla je přímo úměrná rychlosti iontu. Po zapojení elektrického pole dochází velmi brzo k dosažení ustáleného stavu. Pohyblivost iontu je přímo úměrná mocenství a nepřímo úměrná jeho poloměru. [7]

## 4 Technologický postup lakování automobilových součástí



Obr. 1 Schéma linky VBD [4]



Obr. 2 Vstup karoserie do linky VBD [4]

## **4.1 Úprava povrchu materiálu před nanesením ochranné vrstvy:**

Vlastní proces čištění se skládá z:

- 1) odmaštění v alkalických lázních ponorem;
- 2) tryskání;
- 3) moření;
- 4) elektrolytického odmaštění;
- 5) oplachu teplou a studenou vodou;
- 6) sprchového oplachu;
- 7) oplachu součásti v míchané lázni.

### **4.1.1 Odmašťování v alkalických lázních ponorem**

Při výrobním procesu, manipulaci či skladování může dojít k znečištění povrchu součásti vlivem různých faktorů. Na součásti může ulpět pestrá směsice nečistot, které nejsou s povrchem kovu pevně spojeny a jsou na něm přichyceny vlivem přílnavých (adhezních) sil. Jejich převážnou část tvoří zbytky mastných látek (např. po doteku rukou), prachu, kovových třísek, brusných a leštících past.

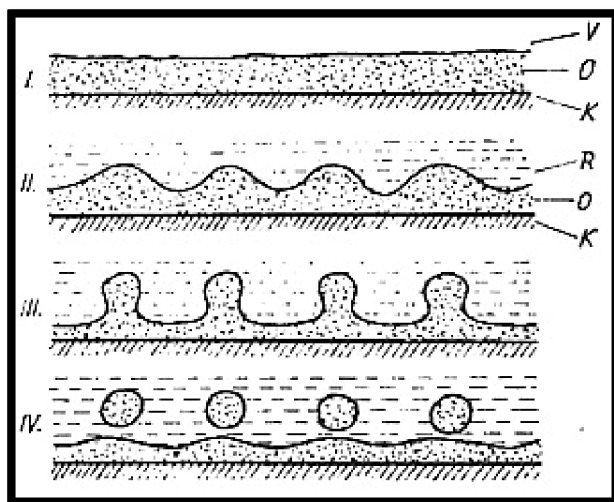
Přítomnost mastných látek na povrchu kovu se nejčastěji zjišťuje zkouškou smáčivosti vodou, při které se na mastném povrchu voda shlukuje do ostrůvků nebo kapiček a na odmaštěném povrchu se voda rozlévá a tvoří souvislý povlak. Před vlastním nanesením povlaku je nutné odstranit veškeré nečistoty z povrchu kovu, a tím zajistit dobrou přílnavost nátěru ke kovovému povrchu. K tomuto účelu se používá proces odmašťování. Ten provádíme v alkalických prostředcích, zahřátých na teplotu 50-60 °C.

Odmašťování v alkalických lázních je nejdůležitější a nejrozšířenější způsob čištění kovového povrchu, při kterém se z povrchu kovu odstraňují převážně mastnoty (odstraňují se i další nečistoty, jako jsou např. anorganické zbytky, prach). Protože je potřeba z povrchu kovu odstranit širokou škálu nečistot (jako jsou např. oleje, vosky, anorganické nečistoty a zmýdelnitelné tuky), musí být schopen odmašťovací přípravek působit na všechny druhy těchto nečistot. Dobrý odmašťovací přípravek musí splňovat základní předpoklad - především být schopen smáčet kovový povrch, emulgovat mastné látky, rozptýlit anorganické nečistoty a zmýdelnit některé mastnoty.

Výhodné je, pokud se v mastném povlaku nacházejí zmýdelnitelné látky (rostlinné nebo živočišné tuky a oleje). Alkalické přísady v odmašťovacím přípravku totiž způsobí

jejich zmýdelnění, vzniknou rozpustná mýdla, které mají čistící schopnost a zlepšují účinek přípravku na odmašťování. I malé množství těchto mýdel (kladně se projevuje již 0,1 % mýdla vzniklého v lázni) zvyšuje smáčecí a emulgační vlastnosti odmašťovací lázně. Lázně, které jsou delší dobu v provozu a ve kterých byly odmašťovány předměty znečištěné zmýdelnitelnými mastnotami, odmašťují lépe, než lázně nové. To je způsobeno malým množstvím mýdel, zůstávajícím v roztoku po předešlém odmaštění předmětů.

U nečistot nerozpustných v alkalické odmašťovací lázni probíhá proces odmašťování obtížněji. Pokud lze nežádoucí látky převést v emulzi (dovoluje to jejich viskozita), provádíme jejich odstranění ve dvou krocích. Tento postup se využívá například u odstraňování vrstvy oleje. Nejprve dochází k postupnému ztenčování olejové vrstvy. Aby k tomuto ztenčení došlo, musíme snížit napětí na povrchu oleje a vyvolat tak jeho snahu po zvětšení jeho povrchu. V nerovných místech olejové hladiny se začnou vytvářet kapičky (velikost kapiček závisí na velikosti snížení stykového napětí). Tyto kapičky, odtrhující se z olejové hladiny buď samy následkem své menší měrné váhy, nebo mechanickým účinkem, zůstávají v lázni ve formě emulze nebo vyplavou na hladinu. Tímto způsobem probíhá ztenčování vrstvy oleje tak dlouho, až na povrchu kovu zůstane jen film molekul, na které působí přímo adhezní síla na rozhraní oleje a kovu. Tím je hrubé odmaštění vrstvy oleje ukončeno. Po něm obvykle následuje odmaštění elektrolytické.



V – vzduch, O – olej, K – kov,

R – odmašťovací roztok

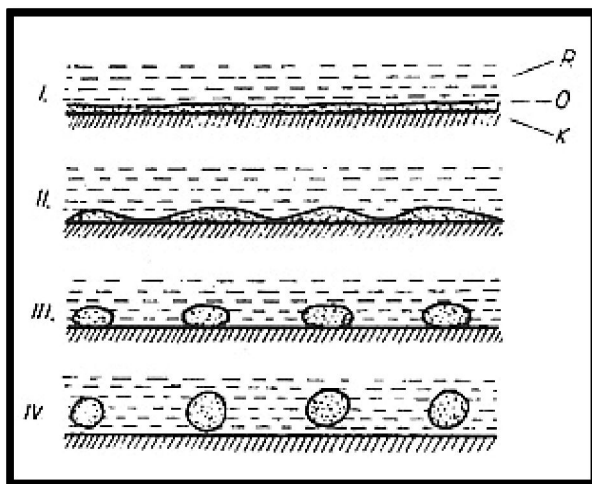
Jednotlivá stádia:

I – počáteční stav, souvislá olejová vrstva na kovu

II, III – zvětšování povrchu oleje po styku s odmašťovací lázní

IV – částice oleje se oddělují od souvislé olejové vrstvy, která se tím ztenčí

Obr. 3 Ztenčování olejové vrstvy [8]



Jednotlivá stádia:

I – souvislá vrstva oleje na kovu, ztenčená již jen na film držený přímo adhezními silami povrchu kovu

II – na některých místech se porušuje souvislost olejové vrstvy

III – odmašťovací lázeň, která při porušení souvislosti olejové vrstvy pronikne až na kov, vytlačuje zbytek oleje

IV – zbytky oleje jsou odtrženy od povrchu kovu

**Obr. 4 Vytlačování oleje z povrchu kovu [8]**

Nejhůře se odstraňují tuhé látky, které nelze převést do formy emulze. Jsou-li v oleji přítomny pouze v malém množství, uvolní se po odstranění oleje a spadnou z povrchu. Odlišným způsobem probíhá odstranění těchto látek, pokud samy lnou ke kovu. Povrchově aktivní látky přítomné v odmašťovací lázni vnikají do pórů a trhlinek ve vrstvě nečistot, přichytí se těsně k jejich částicím a rozruší jejich souvislou vrstvu svými koloidními vlastnostmi (hlavně elektrickým nábojem). Vznikají jemné částičky, které dispergují v lázni. K odstranění nečistot výrazně napomáhá mechanický účinek lázně (její míchání) a Brownův pohyb koloidních částic odmašťovacího roztoku.

Velmi významným činitelem při odmašťování je teplota lázně. Se zvyšováním teploty některé tuhé látky měknou a snižuje se viskozita mastnot. Dochází k cirkulaci lázně, která potom mechanickým účinkem usnadňuje odmaštění. Pohyb lázně napomáhá protrhávat souvislý film mastnot a uvolňovat nečistoty. Nevýhodou práce při vyšších teplotách je skutečnost, že koloidní roztoky přítomné v lázni přecházejí při vyšších teplotách v roztoky pravé, a tím ztrácejí svůj účinek. Proto je nutné se zvyšující teplotou používat větších koncentrací čistících složek. Příznivý vliv teploty na proces odmaštění převažuje nad jeho nevýhodami, odmašťování při vyšších teplotách je výhodnější, než práce za studena.

Převážná část dnes používaných alkalických odmašťovacích přípravků obsahuje hydroxid nebo uhličitán sodný, fosforečnan sodný, křemičitany a syntetická smáčedla. Hydroxid sodný je dobře rozpustný ve vodě a značně alkalický. Jeho nevýhodou je nepříznivý vliv na některé neželezné kovy a velmi špatná oplachovatelnost. Uhličitán sodný má menší alkalitu než hydroxid sodný a lépe se oplachuje. Jako odmašťující činidlo



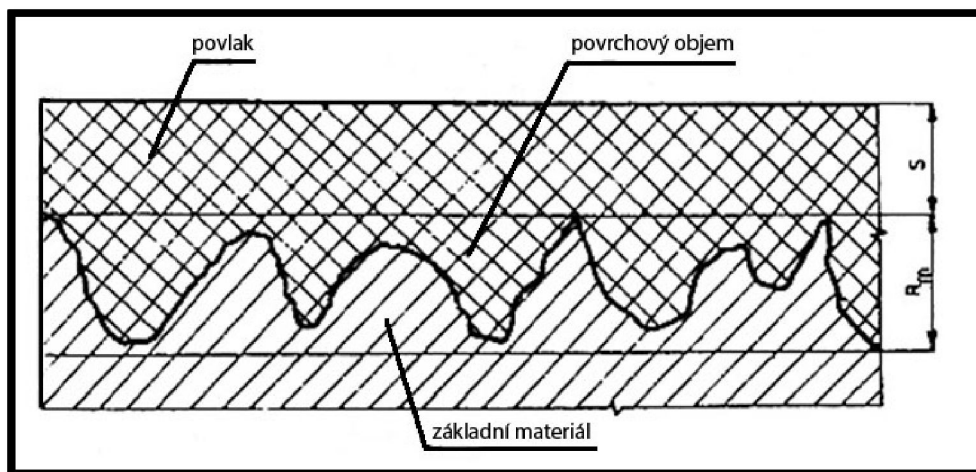
není příliš účinný, používá se k zabránění hrudkování odmašťovacích směsí. Fosforečnan sodný je nejdůležitější přísadou odmašťovací směsi. Je alkalický, má zmýdelňovací i emulgační účinek a z povrchu kovu se oplachuje velmi dobře. Velmi důležitou složkou odmašťovacích přípravků jsou křemičitany. Používá se hlavně křemičitan sodný nebo metasilikát. Křemičitany mají dobré emulgační, smáčecí i zmýdelňovací schopnosti.

Další složkou roztoku jsou smáčedla (povrchově aktivní látky nejrůznějšího složení). Do odmašťovacích roztoků se přidávají pouze v malém množství (0,1 % až 0,3 %). Tyto látky zlepšují proces odmaštění, jsou však drahé a jejich nevýhodou je pěnivost. Proto se používají pouze při ponořování do lázní.

K odmašťování se používá koncentrace roztoků 2-7 %. Pokud bychom zvolili větší koncentraci roztoků, proces odmašťování selepší jen nepatrně a na předmětech se při vyjímání z lázně usadí více rozpuštěných látek. Dojde-li k zaschnutí těchto látek před oplachem, na povrchu kovu se vytvoří povlaky chemikálií. Roztoky bývají zahřáty na teploty blízké bodu varu, přičemž při snížení teploty dochází vždy ke zmenšení odmašťovacího účinku a k prodloužení doby odmaštění. [8]

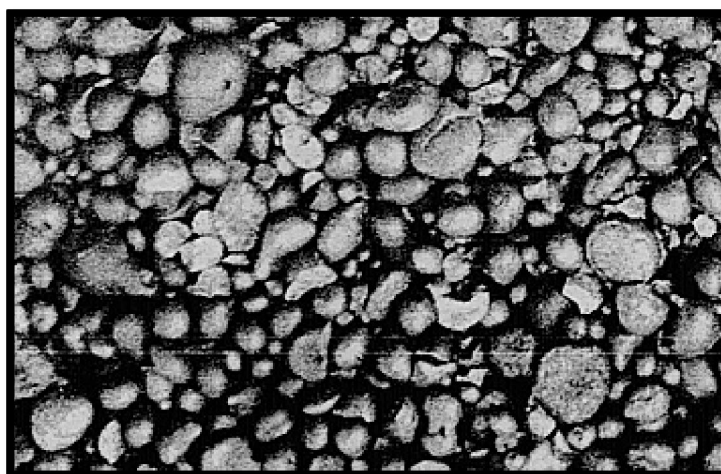
#### **4.1.2 Tryskání**

Povrch součásti musí být zbaven kromě mastnot i rzi, která vzniká chemickou přeměnou základního kovu vlivem atmosférické vlhkosti nebo vody. „Rez se skládá převážně z hydratovaného oxidu železitého. Při její tvorbě spolupůsobí znečištěné prostředí, např. oxid siřičitý, kyselina sírová, kyselina chlorovodíková. Při vytvoření hydroxidu železitého se uvolní stejné množství kyseliny, která korozi způsobila. Rozhodující korozní činitel se tedy znovu obnovuje a způsobuje další napadání kovu.“ [8 str. 9] Pokud je na povrchu kovu vrstva rzi, nelze na něj nanést kvalitní nátěr. Hlavním důvodem je, že se rez snadno drolí, silnější vrstvy jsou křehké a málo přilnavé. Další nevýhodou je schopnost rzi pohlcovat vodu a nečistoty ulpělé ve vrstvě. Proto je nutné povrch součásti tryskat (dojde k rozrušení vrstvy rzi) a následně mořit (rez je odstraňována působením kyseliny).



Obr. 5 Příčný řez na otryskaném povrchu [8]

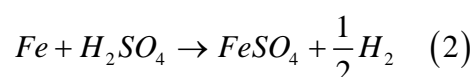
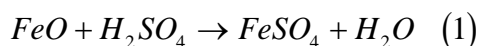
Při tryskání dopadá vhodný tryskací materiál na povrch otryskávaného předmětu velkou rychlostí. Tímto dopadem dochází k plastickým deformacím otryskávaného předmětu a ke zdrsnění jeho povrchu. Tryskací prostředek musí mít dobrý čistící účinek, trvanlivost v provozních podmínkách, nízkou cenu a minimální vliv na opotřebení strojního zařízení. Tryskací částice mohou být z materiálu kovových i nekovových. Mezi nekovové materiály patří křemičitý písek, sklo, korund, struska, drtě z ovocných pecek, mezi kovové materiály řadíme částice z litiny nebo oceli, používají se i kovy neželezné (hliník, mosaz, bronz). Velmi často se k tryskání využívá litinových a ocelových granulátů. Ten se vyrábí rozprašováním a rychlým ochlazením roztavené litiny nebo oceli. K tryskání se používá také křemenného písku, jeho použití je však omezeno pouze na otevřená pracoviště. Tryskací prostředky se rozdělují také podle tvaru na granuláty (převážně kulovitý tvar), drtě (ostrohranné částice), stříhaný plech (nastříhané částice plechu) a sekany drát (délka částic je většinou stejná jako průměr tohoto drátu). [8]



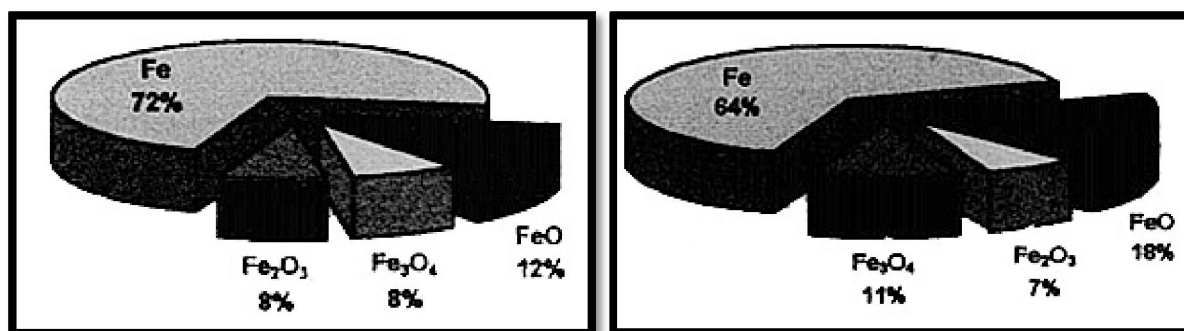
Obr. 6 Litinová drť [8]

### 4.1.3 Moření

Moření je chemický způsob odstraňování zplodin koroze, při kterém se přeměňují nerozpustné zplodiny na látky rozpustné ve vodě. Tímto procesem neodstraňujeme pouze rez, ale i okuje, vytvářející se při výrobě oceli za vysokých teplot. Roztokem, do kterého je upravovaná součást ponořena, je většinou kyselina (sírová, chlorovodíková), výjimečně (při moření zinku a hliníku) se používá alkalických roztoků. Moření, při kterém kyselina rozpouští nejen rez a okuje, ale i samotný kov, probíhá podle těchto reakcí: [8]



Při moření oceli v kyselině sírové vzniká jako reakční prvek síran železnatý, pokud moříme v kyselině chlorovodíkové, je tímto prvkem chlorid železnatý. Při reakci kyseliny a základního kovu dochází k rozpouštění tohoto kovu a vzniká vodík, při rozpouštění povrchové oxidické vrstvy vodík nevzniká.



a) kyselina sírová (10%  $H_2SO_4$ , 40°C)

b) kyselina chlorovodíková (21%  $HCl$ , 20°C)

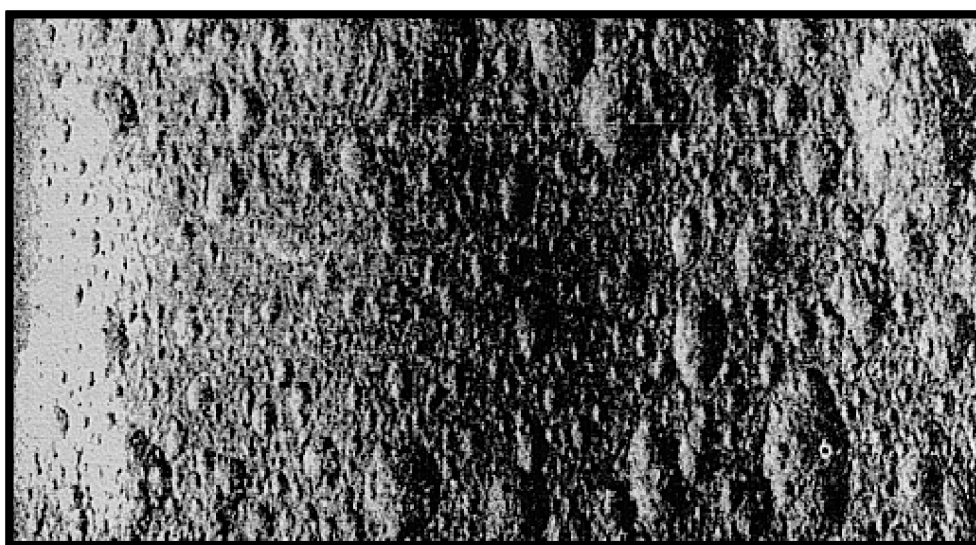
**Obr. 7 Poměr rychlosti rozpouštění železa a oxidů v kyselinách [8]**

Při moření nejprve kyselina působí na okuje a oxidickou vrstvu a pomalu ji rozpouští. Protože je tato vrstva velice porézní, proniká kyselina póry na rozhraní základního kovu a vrstvy oxidů a rozpouští ho. Při tomto rozpouštění se vyvíjí bublinky vodíku, který pomáhá odtrhávat vrstvu oxidů. I když vznikající vodík urychluje odstraňování nežádoucí vrstvy, má jednu zásadní nevýhodu – vzniká tzv. vodíková křehkost materiálu.

Vodík výrazným způsobem ovlivňuje mechanické vlastnosti oceli. Jeho působením u oceli dochází ke snížení tažnosti a pevnosti (podobá se pak oceli křehké). Není podmínkou, že zkřehne celý materiál, může dojít k znehodnocení vlastností pouze v malé

oblasti materiálu. I nepatrné části povrchu, u kterých dojde ke změně vlastností, však mohou mít obrovský vliv na celý namáhaný průřez součásti.

Předpokládá se, že vodík většinou netvoří sloučeniny s železem ani s jinými prvky obsaženými v oceli a vylučuje se jako plyn. Při uvolňování vodíku vzniká vysoký aerostatický tlak. „Atomy vodíku, které se při některých procesech povrchových úprav tvoří na povrchu oceli, do ní difundují a umisťují se v mřížce železa.“ [8 str. 92] Dochází k porušení struktury na mnoha místech a k vytvoření malých dutinek, do kterých vniká atomární vodík. Ten se spojuje v molekuly a působí tlakem na místa, obklopující dutinku. Vlivem vysokého tlaku se značně zvětší při namáhání vnějšími silami mechanické napětí, může dojít i k úplnému rozrušení materiálu. [8]



Obr. 8 Vady zinkového povlaku na oceli vlivem vodíku z moření [8]

#### 4.1.4 Elektrolytické odmašťování

Vlivem elektrolytického odmaštění dojde k odstranění posledních zbytků mastnot a nečistot z povrchu kovu. Protože je toto odmaštění posledním článkem technologického postupu čištění součásti, odstraňují se tímto procesem pouze velmi tenké vrstvy nečistot. Z tohoto důvodu je tedy třeba dbát na dokonalé provedení této operace. Pokud by i po tomto způsobu odmaštění zůstaly na povrchu součásti nějaké nečistoty (např. vlivem chybně provedeného technologického postupu nebo nedostatečné účinnosti lázně), došlo by v dalších operacích k znehodnocení povrchové úpravy povrchu a k výrobě zmetků.

Při tomto způsobu odmaštění dochází ke zrušení soudržnosti kovu s nečistotami a k jejich odtržení z povrchu vlivem tlaku plynů vylučovaných na elektrodách. Kromě mechanického účinku plynu (který je hlavním činitelem tohoto odmaštění) tomuto procesu

napomáhá i chemický a fyzikálně-chemický účinek složek odmašťovací lázně. Pro odmaštění je velmi důležitá proudová hustota (má hlavní vliv na mechanický účinek odmaštění) a vlastnosti lázně (její pH, vodivost, teplota a oplachovatelnost). Aby byl způsob elektrolytického odmašťování ekonomický, je důležité upravit vodivost lázně, a tím snížit hodnotu potřebného napětí a spotřebu elektrické energie. Užití neutrálních solí (jako NaCl nebo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) se nedoporučuje, protože vylučují možnost použití anodického odmašťování a použití katodického způsobu odmašťování značně znesnadňují. Výhodnější je zvýšení teploty lázně, které způsobí i zvýšení její vodivosti (např. při růstu teploty z 20 °C na 100 °C dojde k dvojnásobnému až trojnásobnému zvětšení vodivosti). Zvýšením teploty dochází také ke zmenšování viskozity mastnot, což usnadňuje odstranění nečistot a zlepšuje kvalitu odmaštění. Další důležitou vlastností je oplachovatelnost, což je schopnost lázně nezanechávat na povrchu materiálu po oplachu žádné zbytky této lázně.

Rozeznáváme dva způsoby elektrolytického odmaštění – anodický a katodický. Při obou těchto způsobech se na elektrodách vytvářejí plyny, které čistí povrch předmětů. Použitím katodického zapojení dosahujeme většího mechanického účinku, protože na katodě vzniká při stejné hustotě proudu dvojnásobné množství vodíku než kyslíku na anodě. Nevýhodou je zvětšení alkality v katodovém prostoru, takže některé kovy (např. cín, zinek, olovo, částečně měď) mohou být napadány korozí. Dalším problémem je vylučování kationtů kovů na materiálu, které pak vytváří špatně přilnavý kovový film. Tyto kationty se do lázně většinou dostávají z elektrod nebo nečistot chemikálií. Je tedy třeba zvolit vhodný způsob elektrolytického odmaštění pro konkrétní technologický postup. Pozor si musíme dát i na vznik vodíkové křehkosti materiálu. Nebezpečí vzniku tohoto nežádoucího jevu lze zmenšit, použijeme-li větší proudovou hustotu po kratší dobu. Maximální doba trvání odmaštění je 3 minuty.

Anodického způsobu odmašťování se dříve jmenované nevýhody netýkají, má však jiné zápory. Mechanický účinek tohoto zapojení je poloviční. Velkou nevýhodou je oxidace povrchu kovu a některých olejů vznikajícím kyslíkem. Dochází také k rozpouštění některých materiálů (zinek, mosaz), u kterých tento způsob odmaštění nelze použít vůbec.

Je vhodnější volit odmašťování katodické, protože dosahuje většího mechanického účinku. Doba potřebná k odmaštění závisí na teplotě lázně a na proudové hustotě, nesmí však být delší než 3 minuty. Proudová hustota nemá být větší, jak  $20 \text{ A.dm}^2$  (docházelo by k odstranění nečistot v čase kratším než 1 minuta), ale také nesmí být menší než  $5 \text{ A.dm}^2$  (při menší proudové hustotě nebude lázeň účinná). [8]

#### **4.1.5 Oplach studenou a teplou vodou**

Pro oplach součásti je výhodnější teplá voda než voda studená, je však velmi důležité dodržet její potřebné množství. Velkou chybou technologů je domněnka, že pokud použijeme vodu teplou namísto studené, můžeme z úsporných důvodů snížit množství oplachové kapaliny. Tento předpoklad není správný - pokud bude kapaliny nedostatek, kvalita oplachu se zhorší. Lépe než používat nedostatečné množství vody teplé, je tedy výhodnější oplachovat potřebným množstvím vody studené. Nejvhodnějšího odstranění nechtěných látek docílíme kombinací studeného oplachu s oplachem teplým, který bude následovat hned vzápětí. [8]

#### **4.1.6 Sprchový oplach součásti**

Oplach součásti znamená odstranění kapalinového filmu, zůstávajícího na povrchu součásti z předchozí lázně, a jeho nahrazení filmem novým, u něhož je koncentrace oplachované látky nižší. Je při něm třeba dbát zejména na ekonomické a technické hledisko, proto se snažíme, aby došlo k co nejdokonalejšímu odstranění vrstvičky roztoku (těsně přiléhajícího k povrchu tělesa) v co možná nejkratší době a při co nejmenší spotřebě vody.

Při sprchovém oplachu voda působí značným tlakem na povrch součásti, následně z něho stéká a bere s sebou nečistoty. Tento způsob je účinnější než oplach ponorem. Nevýhodou je, že ho lze použít pouze, pokud voda zasáhne celý povrch součásti, ne jen jeho část – pokud by totiž došlo k oplachu jen některých míst, nebyl by dostatečný. Oplach často probíhá v průběžných komorách, ve kterých je voda stříkána řadou trysek proti součásti. [8]

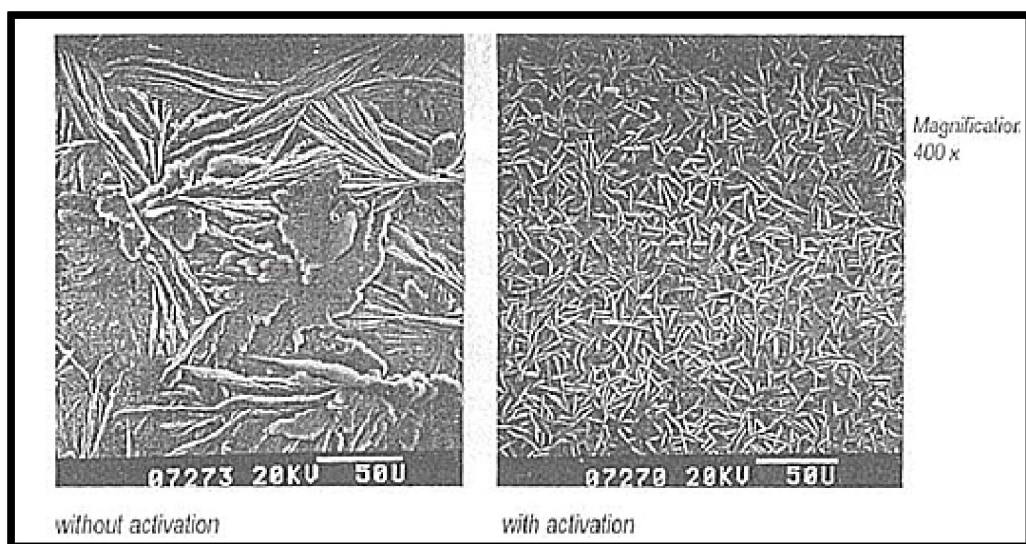
#### **4.1.7 Oplach součásti v míchané lázni**

Při tomto způsobu oplachu dochází k odstranění látky ulpělé na povrchu zejména prouděním lázně kolem předmětů nebo pohybem předmětů v lázni. Vzájemný pohyb mezi předměty a lázní, který má zásadní vliv na rychlost odstraňování nežádoucí látky, bývá vyvozen soustavným mícháním lázně (např. při čeření vzduchem) při současném ponořování a vynořování předmětů z této lázně. I když při tomto způsobu přichází celý povrch předmětu do styku s oplachovou lázní, při ponoření předmětu složitějšího tvaru do lázně dochází k méně intenzivnímu oplachu hůře přístupných míst (dutin, koutů). To je způsobeno omezenou výměnou roztoku na oplachovaném předmětu.

Proces oplachování vychází z předpokladu, že odstranění nežádoucí látky z povrchu předmětu a její přechod do oplachové lázně probíhá ve třech fázích, které označujeme symboly A, B, C. Fáze A má rozhodující podíl na množství přenesené látky. Dochází v ní k postupnému strhávání látky usazené na povrchu vysokou rychlostí (ta způsobuje, že se nestačí uplatnit difúzní děje) proudící oplachové kapaliny. [8]

## 4.2 Aktivace povrchu

Při fosfátování je velmi důležité zajistit rovnoměrnou a jemnou strukturu fosfátové vrstvy. Proto se před vlastním procesem fosfátování provádí aktivace povrchu anorganickými solemi na bázi titanu. Povrch se aktivuje ponořením pokovovaného předmětu do vhodného roztoku, ve kterém proběhne odstranění vrstvy oxidů, která by mohla způsobit zhoršení kvality následující povrchové úpravy – fosfátování. [4]



Obr. 9 Vliv aktivace před fosfátováním [4]

## 4.3 Fosfátování

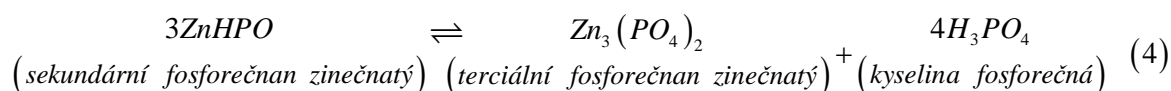
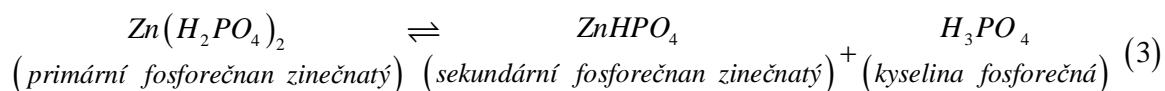
Před vlastním nanesením nátěru je nutné očistit povrch součásti a zbavit ho mastnot, nečistot a korozních zplodin, které se na něm nachází. I pokud provedeme důkladné odstranění všech těchto nežádoucích složek, probíhají na čistém povrchu kovu korozní pochody. Je-li následně na takový povrch nanesen nátěr, vznikají korozní články, které se pod nátěrem rozšiřují. Proto je nutné po důkladném očištění povrchu tento povrch chemicky chránit (ponořováním do příslušných roztoků, potíráním nebo jeho postřikem).

Vznikají vrstvy různé tloušťky, které zvyšují odolnost proti korozi a přilnavost nátěrů. Tyto vrstvy zabraňují vzniku koroze ještě před nanesením nátěru, což je nezbytné

v případech, kdy je upravovaný předmět nějakou dobu skladován. Další výhodou je fakt, že pokud se v určitém místě nátěr poškodí, nevzniká koroze tak snadno.

Při nanesení laku je také potřeba, aby došlo k co nejlepšímu zakotvení laku na povrchu substrátu. Pokud bude povrch součásti leštěný nebo broušený, bude mít nátěr pouze malou přilnavost, z tohoto důvodu je výhodné použít povrch hrubý. Ačkoliv je hrubý povrch velmi vhodný k zakotvení nátěru, tloušťka nanášené vrstvy na něm není stejnoměrná, což vede k větší spotřebě nátěrové hmoty. Přilnavost nátěrových hmot nanesených na chemicky vytvořené vrstvy je dobrá, protože tyto vrstvy obsahují póry, napomáhající zakotvení nátěru.

Fosfátování je způsob chemické úpravy, při kterém dochází k vytvoření souvislé, nerozpustné, dobře přilnavé vrstvy většinou krystalických fosforečnanů na povrchu kovu. Protože je vrstva fosforečnanů pórovitá, je vhodným základem pod nátěry, které vnikají do pórů a na této vrstvě dobře zakotvují. Základní látkou fosfátovacího koncentrátu je ve vodě rozpustný primární fosforečnan zinečnatý  $Zn(H_2PO_4)_2$ . Ten ve vodě přechází na hůře rozpustný sekundární a zcela nerozpustný terciální fosforečnan. Tato změna probíhá dle následujících rovnic: [8]

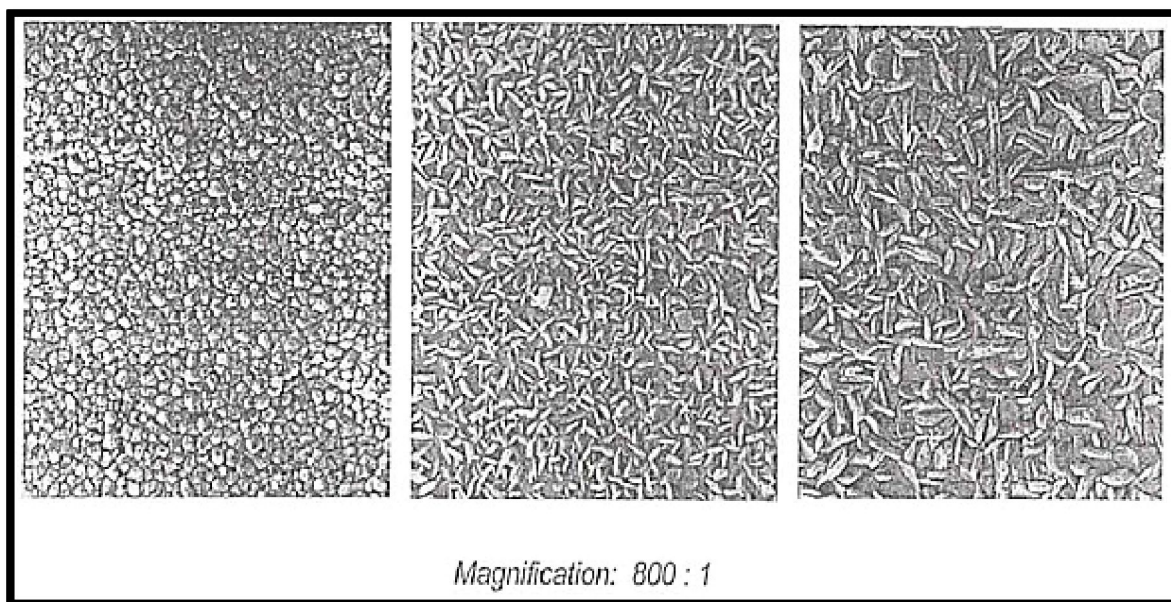


Sečtením rovnic (3) a (4) dostáváme rovnici:  $3Zn(H_2PO_4)_2 \rightleftharpoons Zn_3(PO_4)_2 \quad (5)$

Z rovnic vyplývá, že zplodinou reakce je kyselina fosforečná. Bez přídavku volné kyseliny fosforečné by velmi krátce po započetí reakce došlo ke změně čistého roztoku primárních fosforečnanů na kyselinu fosforečnou a nerozpustné fosforečnany. Tyto fosforečnany by se bez užitku z roztoku vysrážely, což je nežádoucí, neboť chceme vytvářet tyto nerozpustné sloučeniny pouze na povrchu kovu, nikoliv v roztoku. Přidáním volné kyseliny fosforečné dochází k potlačení hydrolýzy primárních fosforečnanů, směs těchto fosforečnanů a kyseliny fosforečné v určitém poměru je stálá. Ponoříme-li předmět do roztoku této směsi, dochází v místě styku fosfátovacího přípravku k rozpouštění oceli kyselinou fosforečnou, k odstranění této kyseliny z roztoku a ke vzniku nerozpustných solí na povrchu kovu. Vzniká tedy směs fosforečnanu kovu, který byl v roztoku ve formě primárního fosforečnanu (u běžných přípravků fosforečnan zinečnatý), a fosforečnanu železa. Reakce se po určité době zastaví sama, nerozpustné sloučeniny totiž brzdí reakci a



neumožňují přístup kyselině fosforečné k povrchu kovu. To, že byl proces ukončen lze poznat tak, že je ukončen vývoj vodíku, vznikajícího v kyselině fosforečné při rozpouštění oceli. Klasický proces fosfátování je velmi pomalý, z tohoto důvodu jsou do fosfátovacích přípravků přidávány látky, které tento proces značně urychlují. Urychlovači lze zkrátit tvorbu fosfátu na několik minut. [8]

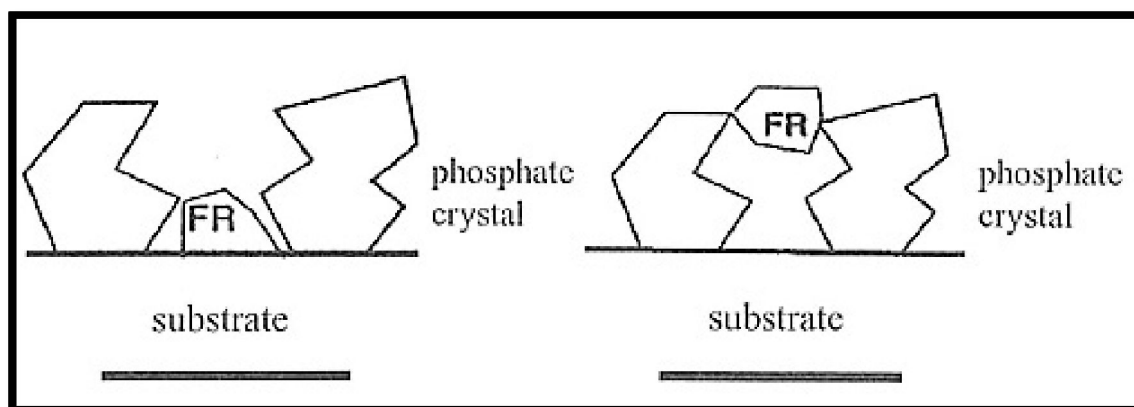


Obr. 10 Proces fosfátování [4]

#### 4.4 Pasivace povrchu

Pasivace je proces, při kterém dochází na povrchu předmětu ke vzniku ochranných vrstev, které zajišťují velkou chemickou odolnost chráněného povrchu. Vzniklé vrstvy jsou velmi tenké (většinou je okem nelze ani spatřit), často se tedy nemění vzhled povrchu. Lze vytvářet i vrstvy silnější - ty je již možno pozorovat i pouhým okem, protože způsobují odlišné zabarvení od vzhledu čistého kovu.

Ke vzniku pasivního stavu (chemické odolnosti povrchu) se používají různé chemické látky, které se od sebe často velmi liší. K vytvoření tohoto stavu nejčastěji používáme oxidačních látek, u kterých se vznik pasivace vysvětluje teorií ochranné vrstvy. Tato teorie vychází z předpokladu, že se na povrchu předmětu oxidační látka účastní reakce a zároveň dochází k její redukci. [8]



Obr. 11 Zacelení pórů pasivací [4]

## 4.5 Oplach demineralizovanou vodou

Demineralizovanou vodou rozumíme vodu zbavenou křemíku (vyskytujícího se ve většině případů ve formě oxidu křemičitého) a všech iontově rozpustných látek.



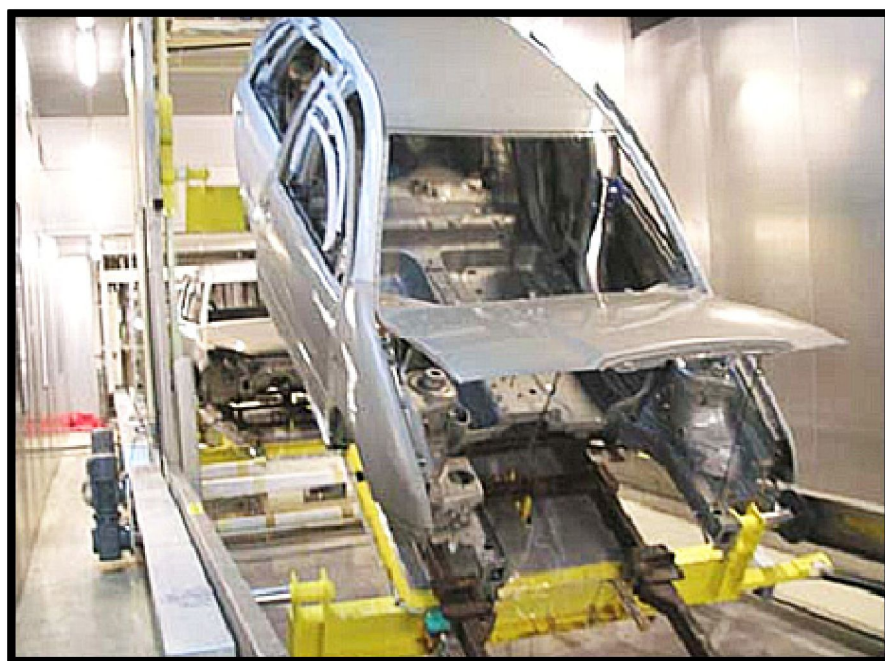
Obr. 12 Postřik karoserie demineralizovanou vodou [4]



## 4.6 Odvedení přebytečné vody



Obr. 13 První fáze odvedení přebytečné vody [4]



Obr. 14 Druhá fáze odvedení přebytečné vody [4]

## 4.7 Vypálení povlaku

Vypalování nanesená vrstvy laku probíhá při teplotách 165-180 °C po dobu cca 15 minut.

## 4.8 Kataforetické lakování



**Obr. 15 Ponoření karoserie do KTL lázně [9]**

KTL (katodové nanášení nátěrových hmot máčením, neboli kataforéza) patří mezi progresivní metody povrchové úpravy. Je to moderní, vysoce hospodárný a ekologický způsob ochrany kovových součástí (především ocelových, pozinkovaných a hliníkových součástek) proti korozi. Největší podíl na rozvoji této technologie má automobilový průmysl, ve kterém jsou kladeny vysoké požadavky na konečný vzhled lakovaných dílců (především karoserií). Tímto způsobem lze dosáhnout znatelného zvýšení užitných vlastností výrobků. I proto se tato technologie rozšířila také do dalších oborů strojírenského průmyslu.

„Při kataforetickém lakování (kataforéze, KTL) se používají kationické ve vodě rozpustné nátěrové hmoty na bázi epoxidů popř. akrylátů s velmi nízkým obsahem organických rozpouštědel obsahující částice laku ve formě polymerních kationtů.“ [3 str. 1] Obsah vody v této lázni je přibližně 80-90 %, zbylé procento tvoří pryskyřice, pigment, organická rozpouštědla a přísady. „Aniontová forma vodou ředitelných laků je na bázi aniontů organických kyselin, zejména kyseliny octové popř. kyseliny mravenčí nebo jejich kombinace.“ [10 str. 1] Na začátku procesu lakování je výrobek ponořen do lakovací lázně a následně je připojen jako katoda. Lakovací lázně jsou různé velikosti, dle rozměrů výrobku, přičemž vany největších rozměrů se používají v automobilovém průmyslu (ty mohou mít délku až 40 m a hloubku 5 m). Protielektrodou ke katodě je tzv. elektroforézní



box s iontoměničovou membránou. Ten má funkci anody a zároveň slouží k udržení koncentrační rovnováhy iontů v lázni. Pokud vložíme mezi výrobek a anodu stejnosměrné napětí, dojde k vytvoření elektrického pole a kationty z lázně se začnou pohybovat směrem ke katodě. Na katodě dochází k reakci kationtů s  $\text{OH}^-$  ionty (vznikajícími na katodě rozkladem vody), při které kationty ztrácejí rozpustnost a vylučují se na povrchu lakovaných součástí. Nespornou výhodou tohoto způsobu lakování je také rovnoměrná vrstva povlaku na celém povrchu – to je způsobeno faktem, že s rostoucí tloušťkou nátěru roste také odpor vrstvy, tedy klesá rychlost vylučování nátěru. Vylučování potom probíhá pouze v místech s malou tloušťkou nátěru (např. v dutinách, stísněných místech). Dosáhneme-li určité tloušťky na celém povrchu součásti, vylučování laku se zastaví. [3]



Obr. 16 Součásti chráněné kataforetickým lakováním [11]

#### 4.9 Třístupňový postřikový oplach ultrafiltrátem

Ultrafiltrace je separační proces, sloužící k získání potřebného množství kapaliny pro oplach přebytečného laku. „Při použití ultrafiltrace je barva v turbulentním proudění okolo semipermeabilní membrány pod určitým hydrostatickým tlakem. Membrána ve tvaru spirály působí jako molekulové síto a propouští pouze částice určité velikosti, v tomto případě vodu, rozpouštědla a rozpuštěné soli.“ [4 str. 29] Tyto látky, nazývané permeát, jsou vedeny do zásobní nádrže a dopravují se čerpadlem do postřikového rámu pro finální

oplach. Velké částice pigmentu a makromolekuly pojidla přes membránu neprojdou a barva se vrací zpět do lázně. Těmto látkám říkáme retentát. [12]

## 5 Cíle a popis experimentů včetně jejich vyhodnocení

Cílem experimentální části je provést sérii měření, díky níž bude možno porovnat vlastnosti tří v praxi používaných povlaků. Na začátku sestavím praktický postup povlakování jednotlivých vzorků. U takto ochráněných povlaků bude hodnocena jejich odolnost proti korozi, otěruvzdornost a bude měřena tloušťka naneseného povlaku. Z naměřených hodnot bude v závěru vybrán povlak, který zajišťuje největší komplexní ochranu automobilových součástí.

### 5.1 Specifikace a popis zkoumaných vzorků

Označení vzorku	Povrchová úprava	Ochrana proti korozi
Ofl-x630	Zn fosfát 5 $\mu\text{m}$ + kataforetické lakování 30 $\mu\text{m}$ dle TL 260	vysoká
Ofl-x632	Zn fosfát 5 $\mu\text{m}$ + elektrolyticky vyloučená vrstva zinku 5-12 $\mu\text{m}$ + kataforetické lakování 10-15 $\mu\text{m}$	vysoká
Ofl-s611	Zn povlak 5-12 $\mu\text{m}$ + tenkovrstvá pasivace dle TL 217 (bez $\text{Cr}_6$ ) + kataforetické lakování 10-15 $\mu\text{m}$ (syťá čerň)	vysoká

Tab. 1 Specifikace zkoumaných vzorků

**Pozn.:** 1) Všechny zkoumané vzorky budou mít rozměr **100x30 mm**.

2) Vzorky dodala firma **BRANO a.s.**, která na nich provedla potřebné povrchové úpravy.

### 5.2 Technologický postup povlakování jednotlivých vzorků

#### 5.2.1 Powlakování vzorku Ofl-s611

Pozice	Operace	Prostředí	Doba	Teplota °C
1	Jednostupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	70 s	60
2	Dvoustupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	100 s	60
3	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
4	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
5	Elektrolytické vyloučení zinku	-	-	-
6	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
7	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
8	Tenkovrstvá pasivace dle TL 244 (bez $\text{Cr}_6$ )	Deoxylyte 54 NC + malý přídavek DEOXYLYTE Toner	60 s	20
9	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
10	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
11	Demi oplach postřikem	Demi voda	30 s	20
12	KTL lakování ponorem	KTL lázeň	120 s	30
13	Sušení v peci	Teplý vzduch	15 min.	80
14	Vypékání v peci	Teplý vzduch	15 min.	190

Tab. 2 Technologický postup povlakování vzorku Ofl-s611

### 5.2.2 Povlakování vzorku Ofi-x630

Pozice	Operace	Prostředí	Doba	Teplota °C
1	Jednostupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	70 s	60
2	Dvoustupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	100 s	60
3	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
4	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
5	Aktivace postřikem	Prostředek FIXIDINE 50 koncentrace 1 g/l	30 s	20
6	Zinkofosfát – postřik	GRANODINE 1993 koncentrace 50 g/l + malý přírůvek GRANO Starter 65 + malý přírůvek GRANO Toner (tenzid).	130 s	55
7	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
8	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
9	Demi oplach postřikem	Demi voda	30 s	20
10	KTL lakování ponorem	KTL lázeň	120 s	30
11	Sušení v peci	Teplý vzduch	15 min.	80
12	Vypékání v peci	Teplý vzduch	15 min.	190

**Tab. 3 Technologický postup povlakování vzorku Ofi-x630**

### 5.2.3 Povlakování vzorku Ofi-x632

Pozice	Operace	Prostředí	Doba	Teplota °C
1	Jednostupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	70 s	60
2	Dvoustupňové odmaštění postřikem	Alkalický prostředek RIDOLINE 1372 koncentrace 10 g/l	100 s	60
3	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
4	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
5	Elektrolytické vyloučení zinku	-	-	-
6	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
7	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
8	Aktivace postřikem	Prostředek FIXIDINE 50 koncentrace 1 g/l	30 s	20
9	Zinkofosfát – postřik	GRANODINE 1993 koncentrace 50 g/l + malý přírůvek GRANO Starter 65 + malý přírůvek GRANO Toner (tenzid).	130 s	55
10	Jednostupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20



Pozice	Operace	Prostředí	Doba	Teplota °C
11	Dvoustupňový oplach postřikem	Provozní voda	30 s	20
12	Demi oplach postřikem	Demi voda	30 s	20
13	KTL lakování ponorem	KTL lázeň	120 s	30
14	Sušení v peci	Teplý vzduch	15 min	80
15	Vypékání v peci	Teplý vzduch	15 min.	190

**Tab. 4 Technologický postup povlakování vzorku OfI-x632**

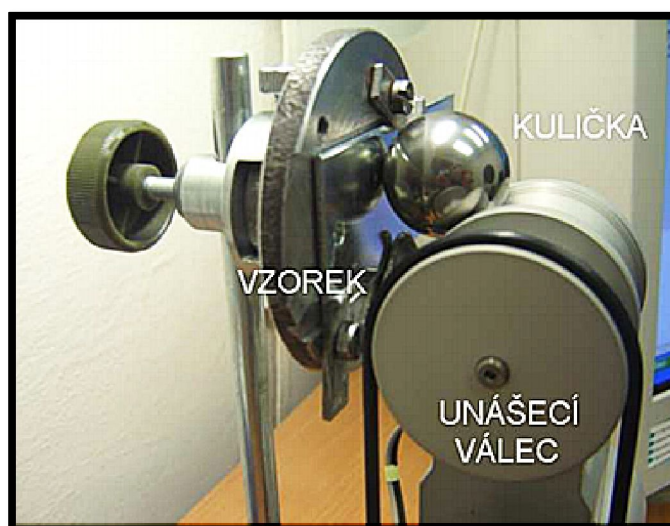
### **5.3 Zkouška otěruvzdornosti povlaku**

Otěruvzdornost povlaku zjišťujeme pomocí laboratorního přístroje kulotester, který je určen k simulaci abrazivního opotřebení zkoušeného povlaku. Před každým testem je nutno zkoušený vzorek i kuličku důkladně odmastit organickým rozpouštědlem a kuličku potříť brusnou pastou. Následně jsou zkoumané vzorky (většinou s  $R_a < 0,4 \mu m$ ) upevněny do přístroje. Přitom je třeba dbát na to, aby v průběhu odvalování kuličky byla zachována stejná vzdálenost vzorku od unášecího válce. Jestliže by došlo ke změně této vzdálenosti, změnila by se přitlačná síla kuličky a došlo by ke zkreslení výsledků testu. Po nastavení počtu otáček a spuštění přístroje dochází k mechanickému výbrusu povlaku a základního materiálu. Výbrusem vzniká kulový vrchlík, který se označuje kalota. Z průměru kaloty (změřeného pomocí mikroskopu Neophot 21) a z průměru kuličky (většinou se používá průměr od 25 mm do 30 mm) lze vypočítat tloušťku otěru povlaku. [13]

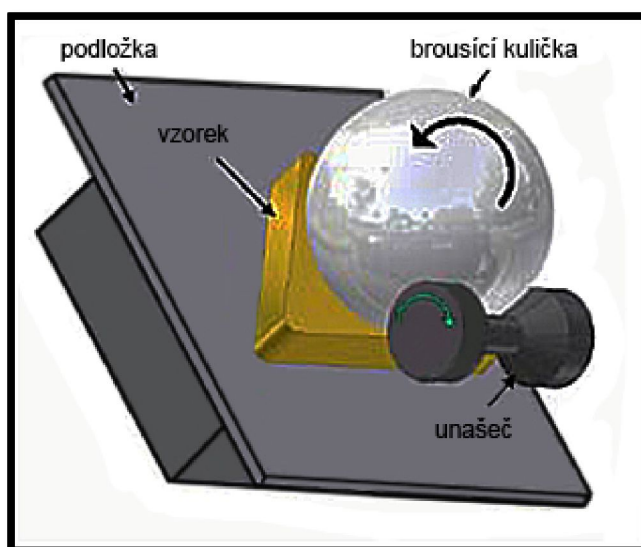
V mé bakalářské práci podrobím vzorky OfI-x630, OfI-x632 a OfI-s611 mechanickému výbrusu kuličky o průměru 30 mm. Zkoumané vzorky upnu do přístroje a následně na kulotesteru postupně nastavím počty otáček 500, 1000, 2000, 4000 a 6000. Po každém testu očistím zkoušený vzorek i kuličku organickým rozpouštědlem a kuličku potřu brusnou pastou. Po provedení všech testů na jednom vzorku zkušební kuličku vyměním za kuličku novou. Jakmile ukončím sérii testů na kulotesteru vyhodnotím potřebné parametry pro výpočet tloušťky povlaku na mikroskopu Neophot 21 za pomoci softwaru QuickPHOTO Industrial 2.2



Obr. 17 Kulotester [11]



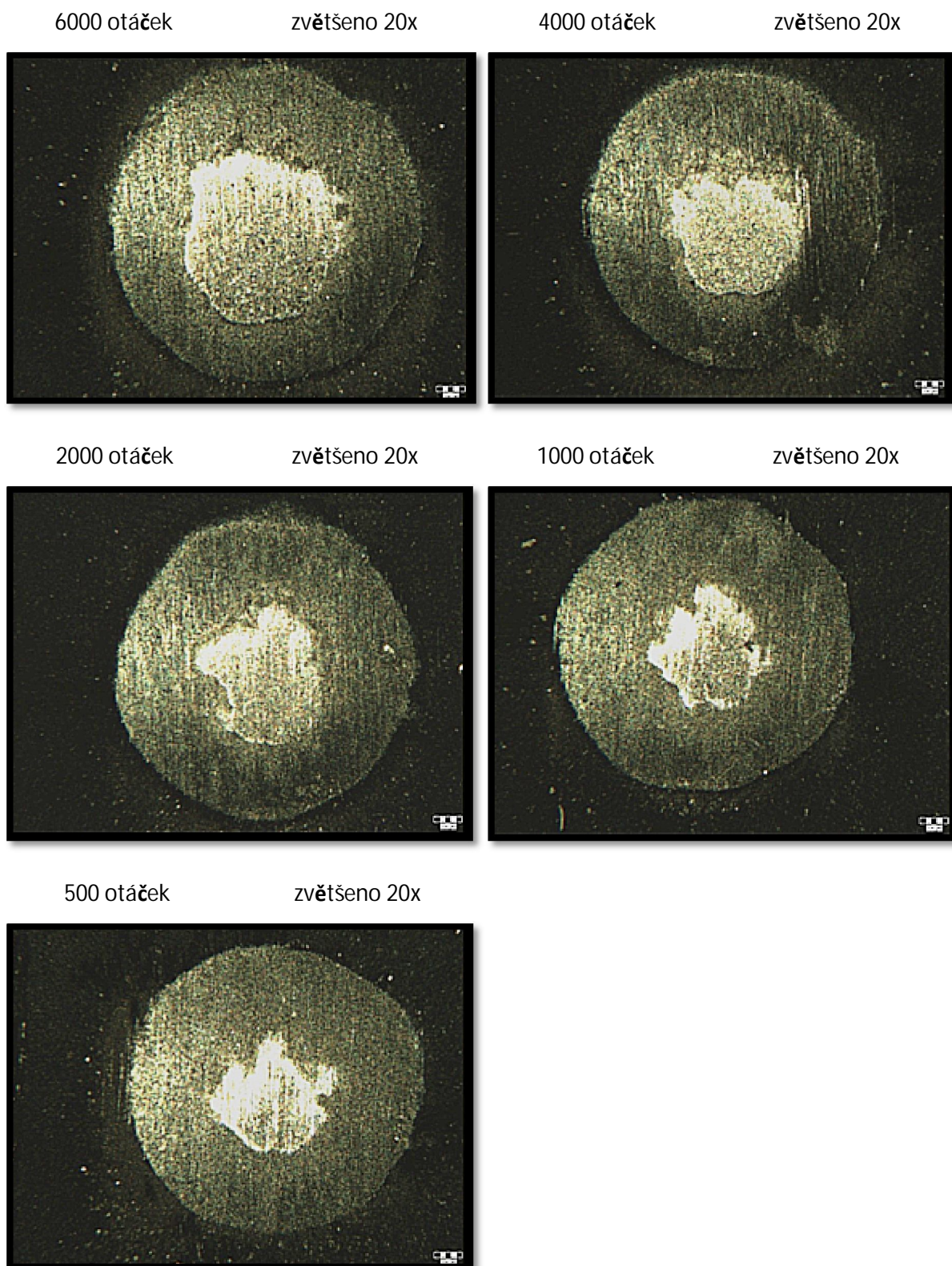
Obr. 18 Detail přístroje Kulotester s popisem funkčních (pracovních) částí [13]



Obr. 19 Schéma pracovních částí Kulotesteru [14]

### Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-x630

Otěruvzdornost povlaku vzorku Ofi-x630 byla vyhodnocena po 6000, 4000, 2000, 1000 a 500 otáčkách zkušební kuličky na přístroji Kulotester.

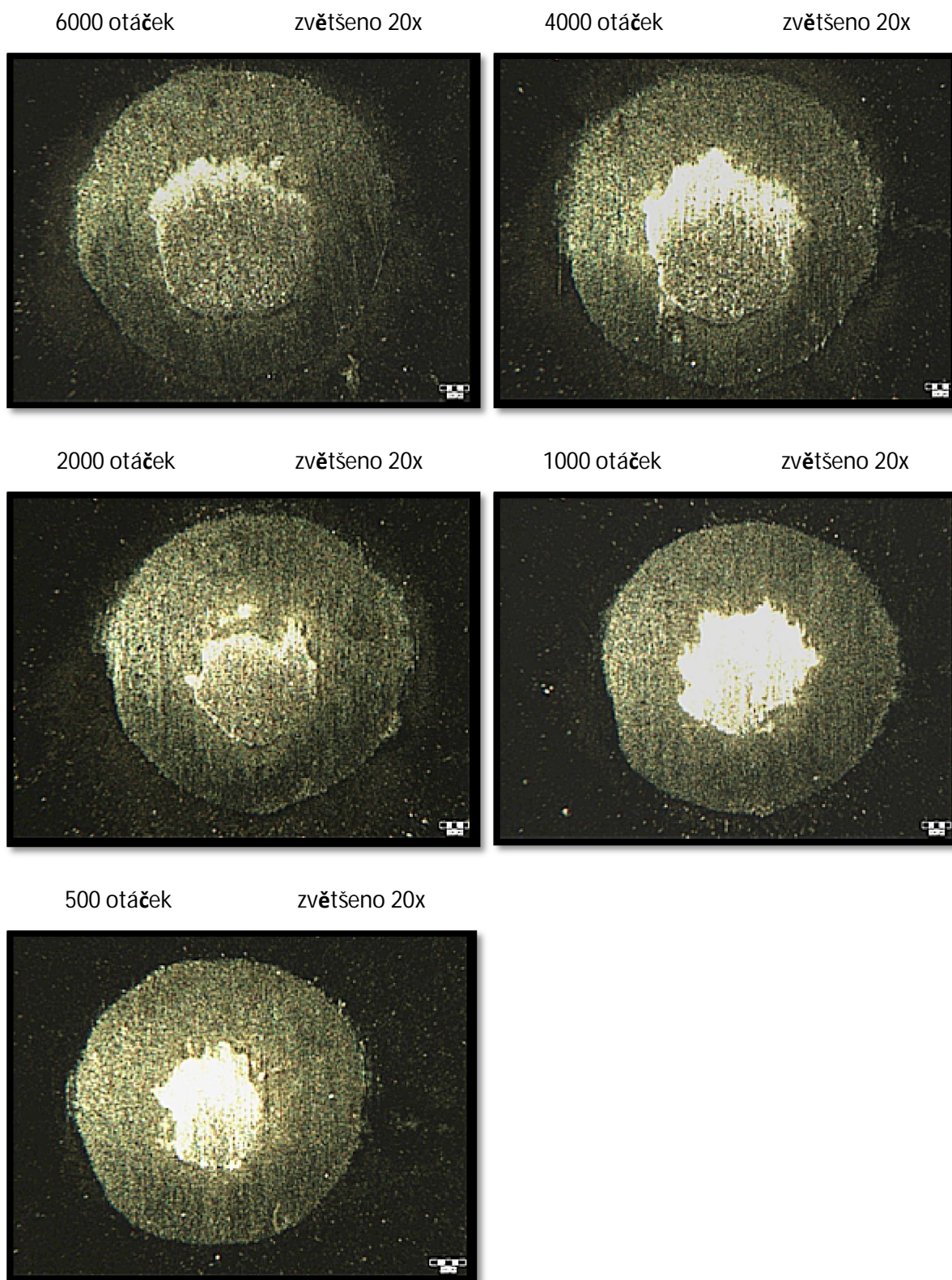


Obr. 20 Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-x630 na kulotesteru při různých otáčkách [11]



### Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-x632

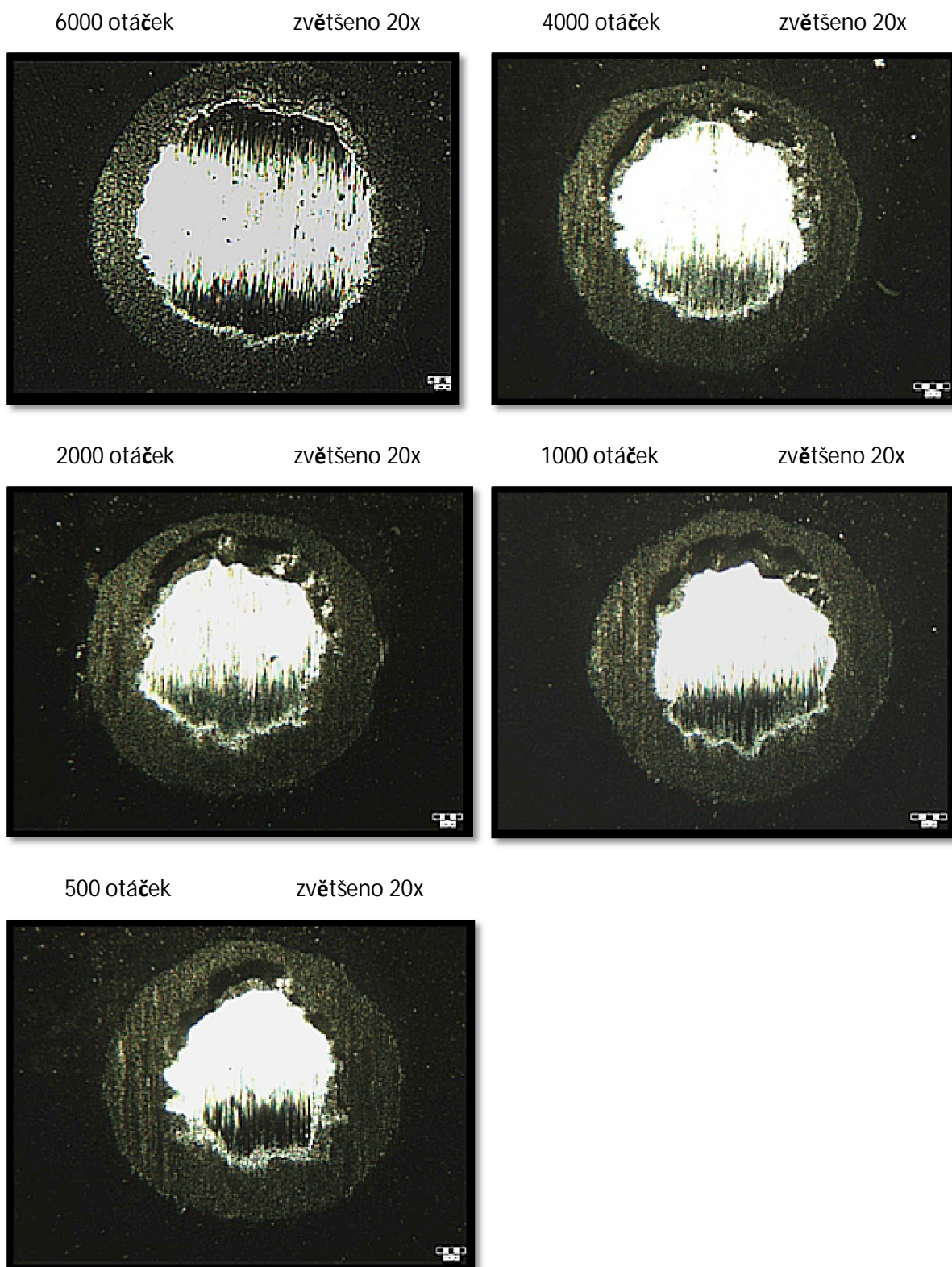
Otěruvzdornost povlaku vzorku Ofi-x632 byla vyhodnocena po 6000, 4000, 2000, 1000 a 500 otáčkách zkušební kuličky na přístroji Kulotester.



Obr. 21 Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-x632 na kulotesteru při různých otáčkách [11]

## Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-s611

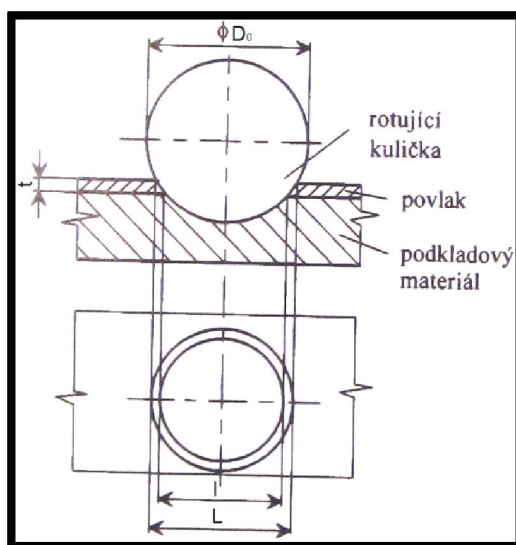
Otěruvzdornost povlaku vzorku Ofi-s611 byla vyhodnocena po 6000, 4000, 2000, 1000 a 500 otáčkách zkušební kuličky na přístroji Kulotester.



Obr. 22 Zkouška otěruvzdornosti vzorku Ofi-s611 na kulotesteru při různých otáčkách [11]



## 5.4 Vyhodnocení zkoušky otěruvzdornosti povlaku



Obr. 23 Schéma vtisku kuličky po zkoušce kulotestem [15]

Tloušťka povlaku  $t$ :

$$t = \frac{1}{2} \left( \sqrt{D_0^2 - l^2} - \sqrt{D_0^2 - L^2} \right)$$

$$t = \frac{1}{2} \left( \sqrt{30000^2 - 889^2} - \sqrt{30000^2 - 2055,3^2} \right)$$

$$t = 28,66 \mu m$$

Příklad výpočtů pro vzorek Ofi-x632

(pro 1000 otáček):

Průměrná hloubka kulového vrchlíku  $h$ :

$$h = \frac{D_0}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D_0^2 - L^2}$$

$$h = \frac{30000}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{30000^2 - 2055,3^2}$$

$$h = 35,24 \mu m$$

Průměrná hloubka kulového vrchlíku

střed:

$$h_1 = \frac{D_0}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D_0^2 - l^2}$$

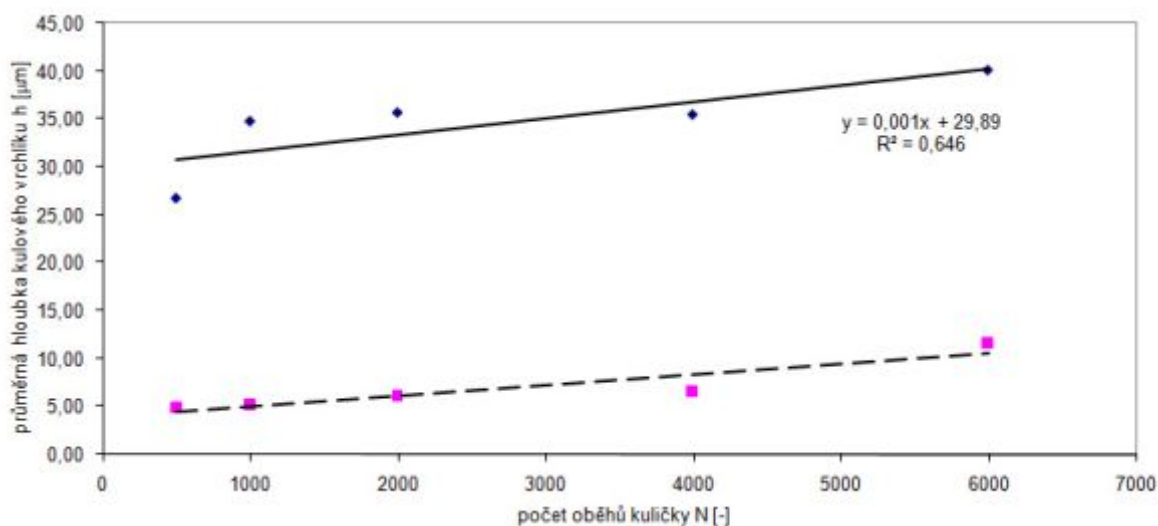
$$h_1 = \frac{30000}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{30000^2 - 889^2}$$

$$h_1 = 6,59 \mu m$$

### 5.4.1 Otěruvzdornost vzorku Ofi-x630

Vzorek	Počet oběhů kuličky N [-]	Průměr kuličky [mm]	Střední průměr kulového vrchlíku L [ $\mu m$ ]	Vnitřní průměr mezikruží kaloty l [ $\mu m$ ]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku h [ $\mu m$ ]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku střed $h_1$ [ $\mu m$ ]	Tloušťka povlaku t [ $\mu m$ ]
Ofi-x630	500	30	1789	761	26,69	4,83	21,87
	1000		2040,7	789	34,74	5,19	29,56
	2000		2067,3	854	35,66	6,08	29,58
	4000		2061,3	885	35,45	6,53	28,92
	6000		2192,3	1182	40,11	11,65	28,46

Tab. 5 Otěruvzdornost vzorku Ofi-x630

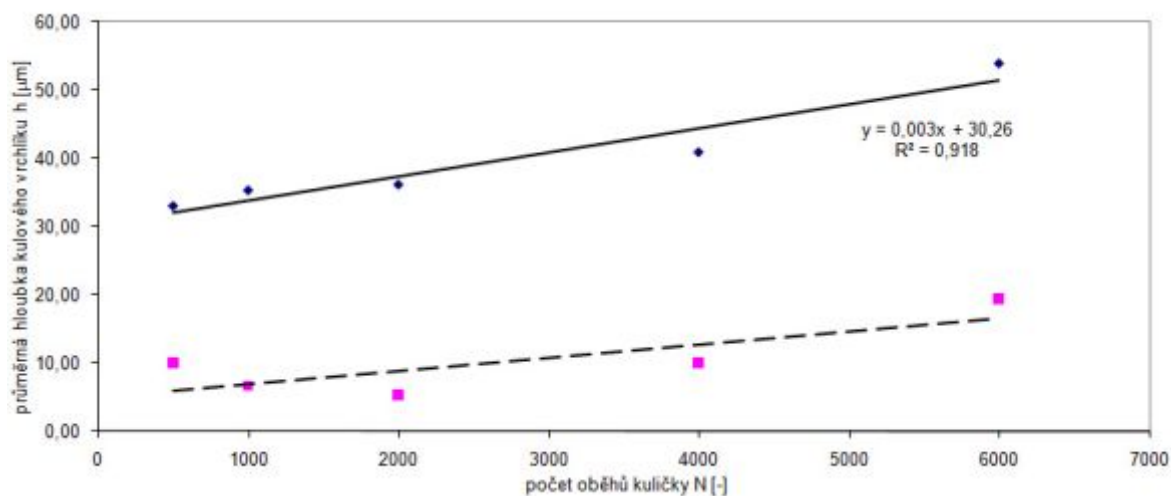


Graf 1 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku OfI-x630

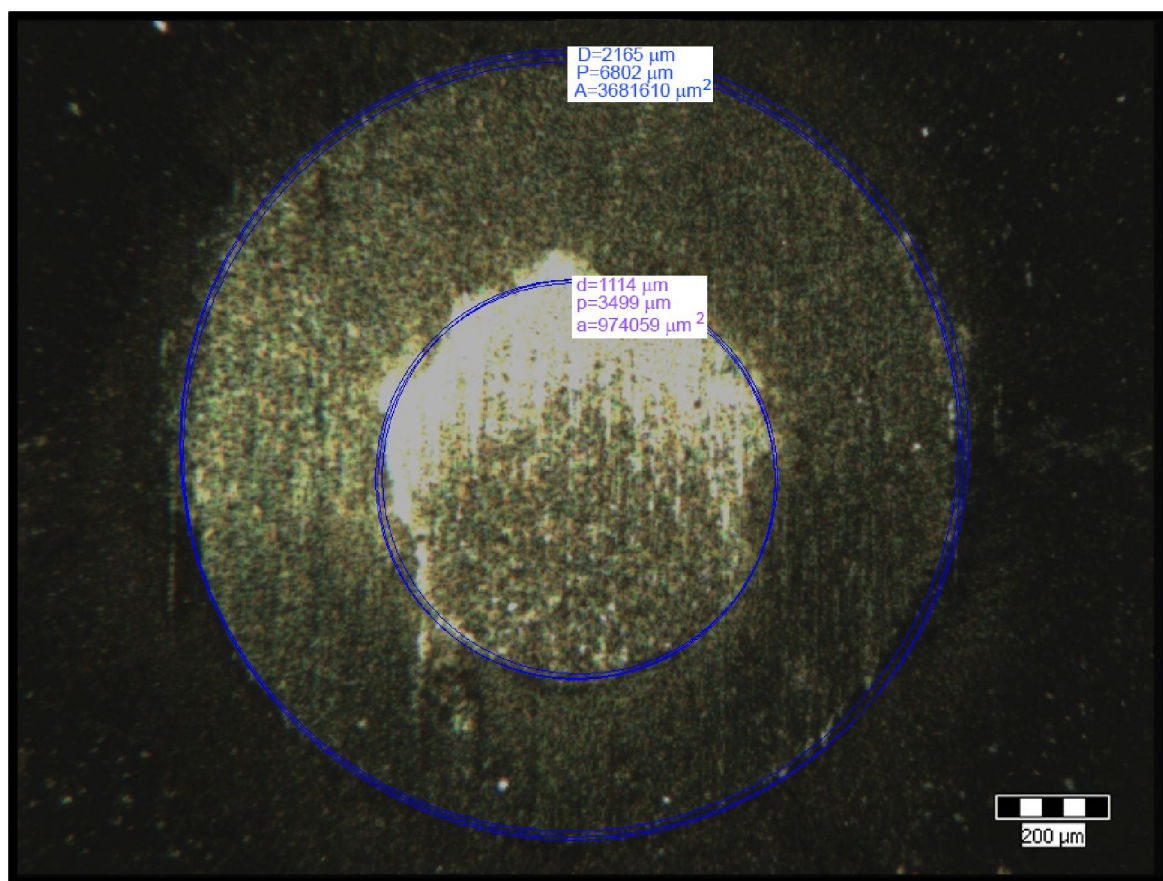
#### 5.4.2 Otěruvzdornost vzorku OfI-x632

Vzorek	Počet oběhů kuličky [-]	Průměr kuličky [mm]	Střední průměr kulového vrchlíku L [μm]	Vnitřní průměr mezikruží kaloty I [μm]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku střed h <sub>1</sub> [μm]	Tloušťka povlaku t [μm]
OfI-x632	500	30	1987	1095	32,94	10,00	22,94
	1000		2055,3	889	35,24	6,59	28,66
	2000		2080	792	36,10	5,23	30,87
	4000		2213	1091	40,87	9,92	30,94
	6000		2543	1527	53,99	19,44	34,54

Tab. 6 Otěruvzdornost vzorku OfI-x632



Graf 2 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku OfI-x632



Obr. 24 Měření vnějšího a vnitřního průměru pomocí softwaru QuickPHOTO Industrial 2.2 [11]

Vnější průměr vtisku D [μm]	Vnitřní průměr vtisku d [μm]	Vnější plocha vtisku A [μm <sup>2</sup> ]	Vnitřní plocha vtisku a [μm <sup>2</sup> ]	Vnější obvod vtisku P [μm]	Vnitřní obvod vtisku p [μm]	Tloušťka povlaku t [μm]
2165	1114	3681610	974059	6802	3499	28,69
2171	1107	3702799	963206	6821	3479	29,07
2227	1107	3896237	963206	6997	3479	31,12
Průměrné hodnoty měření						
2187,7	1109,3	3760215,3	966823,7	6873,3	3485,7	29,6

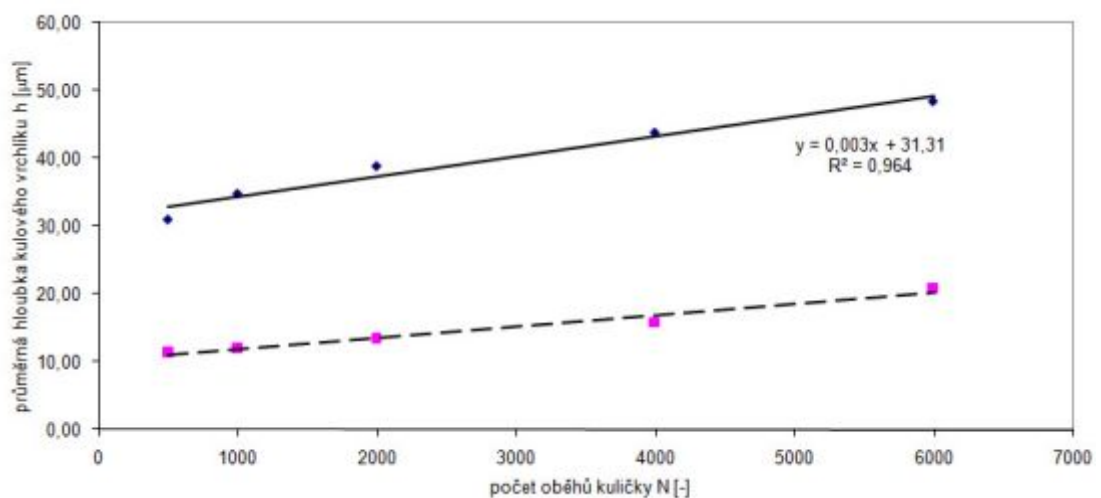
Tab. 7 Příklad měření průměrů, ploch a obvodů vzorku Ofi-x632



### 5.4.3 Otěruvzdornost vzorku Ofi-x611

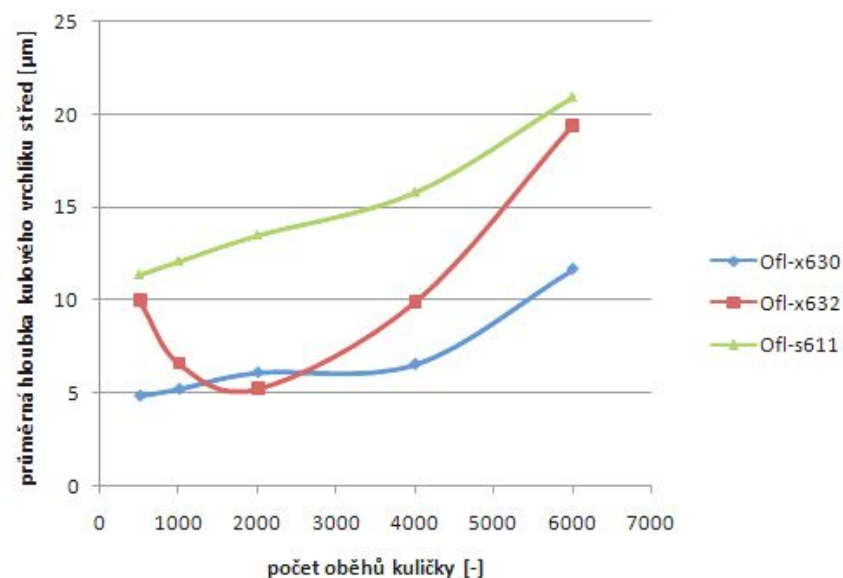
Vzorek	Počet oběhů kuličky [-]	Průměr kuličky [mm]	Střední průměr kulového vrchlíku L [ $\mu m$ ]	Vnitřní průměr mezikruží kaloty I [ $\mu m$ ]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku h [ $\mu m$ ]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku střed $h_1$ [ $\mu m$ ]	Tloušťka povlaku t [ $\mu m$ ]
Ofi-s611	500	30	1928	1169	31,01	11,39	19,62
	1000		2042	1205	34,79	12,11	22,68
	2000		2158	1273	38,86	13,51	25,35
	4000		2291	1378	43,80	15,83	27,97
	6000		2408	1585	48,40	20,96	27,45

Tab. 8 Otěruvzdornost vzorku Ofi-s611

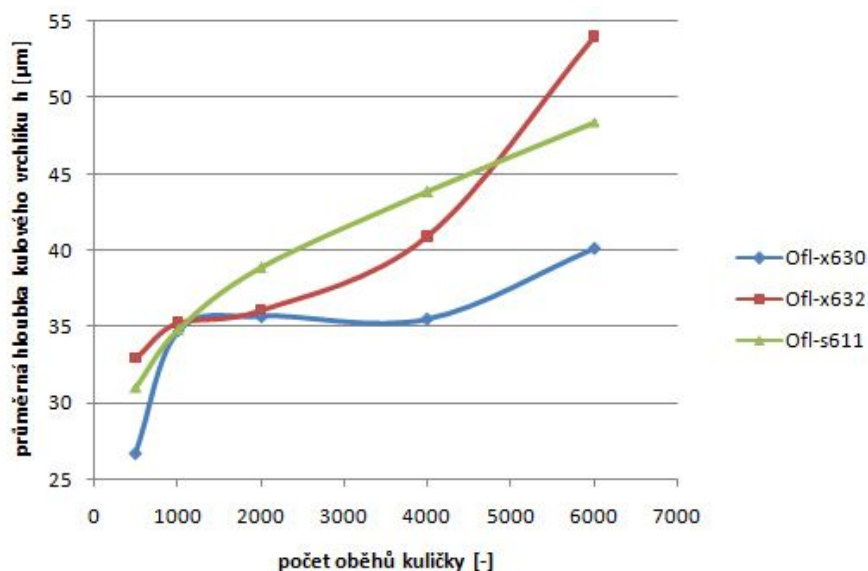


Graf 3 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku Ofi-s611

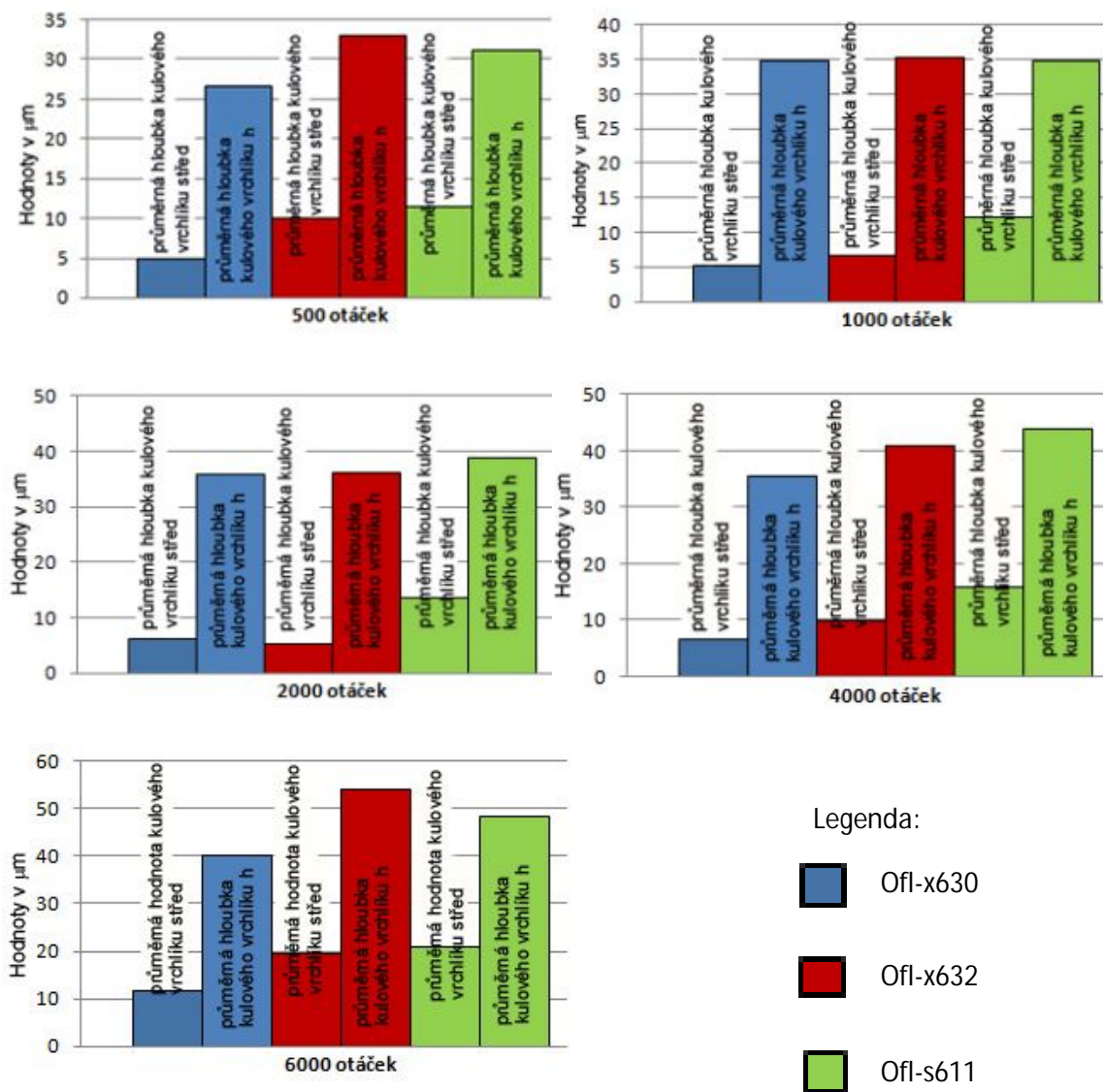
### 5.4.4 Srovnání naměřených hodnot



Graf 4 Porovnání průměrné hloubky kulového vrchlíku střed u všech vzorků



Graf 5 Porovnání průměrné hloubky kulového vrchlíku u všech vzorků



Obr. 25 Srovnání průměrných hloubek kulového vrchlíku při určitém počtu otáček

### 5.4.5 Vyhodnocení testu otěruvzdornosti

Nejlépe při všech testovaných otáčkách kuličky dopadl vzorek **Ofl-x630**, který chránil základní materiál zinkofosfátem + KTL vrstvou. Tento povlak měl při 500 otáčkách nejlepší otěruvzdornost, při 1000 a 2000 otáčkách měl otěruvzdornost přibližně srovnatelnou se vzorkem Ofl-x632, při 4000 a 6000 otáčkách měl opět nejlepší odolnost proti otěru z měřených vzorků.

O něco horší otěruvzdornost měl vzorek **Ofl-s611**, který chránil základní materiál povlakem zinku + tenkovrstvou pasivací dle TL 217 (bez Cr6) + KTL vrstvou. Při 500 a 1000 otáčkách chránil základní materiál více, než povlak Ofl-x632. Při 2000 a 4000 otáčkách naopak chránil povrch méně, než povlak Ofl-x632. Při 6000 otáčkách měl větší ochranu povlak Ofl-s611. S následujícího srovnání vyplývá, že nepatrně lepší odolnost proti mechanickému opotřebení má povlak Ofl-s611.

## 5.5 Korozní zkouška v solné komoře

Jednotlivé automobilové díly jsou roztrženy do 3 tříd dle jejich korozního zatížení a potřebného stupně ochrany proti korozi. Tyto korozní třídy jsou označeny jako **1** – malá ochrana proti korozi, **3** – střední ochrana proti korozi a **6** – vysoká ochrana proti korozi. Popis jednotlivých dílů, které spadají do těchto tříd lze najít v normě VW 137 50. Všechny mnou zvolené (Ofl-x630, Ofl-x632 a Ofl-s6111) vzorky spadají do třídy 6, tedy mají vysoký stupeň ochrany proti korozi. [16]

Dle normy ČSN EN 11997-1:2006 (Nátěrové hmoty – Stanovení odolnosti při cyklických korozních zkouškách – Část 1: Solná mlha/sucho/vlhkost) rozeznáváme 4 zkušební cykly vzorků, které jsou v průmyslu používány pro hodnocení provedení povlaků. Při naší zkoušce v solné komoře jsme postupovali dle Cyklu B.

Cyklus A	Vychází v japonské automobilové normy JASO M 609-91 a JASO M610-92.
Cyklus B	Je založen na cyklické zkoušce VDA 621-415. Cyklus je velmi rozšířen v Evropě. Pro teplem tvrditelné nátěrové hmoty vykazuje dobrou shodu se stárnutím v korozních podmínkách vozidla.
Cyklus C	Cyklus byl vyvinut ve Velké Británii pro použití vodou ředitelných a latexových nátěrových systémů. Cyklus vykazuje dobrou shodu s přirozeným stárnutím.
Cyklus D	Jeho specifikace je v japonské normě JIS K 5621-2003.

**Tab. 9 Zkušební cykly dle normy ČSN EN 11997-1:2006 [17]**

Podstatou zkoušky je vystavení zkoumaného povlaku cyklickému zkušebnímu režimu solná mlha, sušení, vlhkost. Na začátku experimentu se nastaví solná komora tak, aby pracovala pouze v požadovaném cyklu postřiku, určí se množství spadu solné mlhy. Následně se nechá ustavit rovnováha a do komory se vloží zkoumané vzorky tak, aby nebyly vystaveny přímému rozstříku mlhy z rozprašovací trysky. Velmi důležité je, aby byly vzorky v komoře umístěny lícovou stranou nahoru pod úhlem  $(20 \pm 5)^\circ$  ke svislé ose. Je třeba zabezpečit, aby se zkoumané vzorky vzájemně nedotýkaly, nebo nebyly v kontaktu s komorou a aby byly vystaveny účinkům zkušebního roztoku pouze v místech, kam postřík volně dopadá. Je doporučeno změnit každý den umístění zkušebních vzorků v komoře, aby byl vyloučen vliv jejich umístění na degradační proces. Pro možnou kontrolu správnosti provedení zkoušky se doporučuje k vyhodnocovaným vzorkům vložit kontrolní prvek s nátěrovou hmotou o známé životnosti. Následně se komora uzavře a spustí se přívod zkušebního roztoku do rozprašovacích trysek. S výjimkou krátkých přerušení pro kontrolu, změnu uspořádání nebo vyjmutí zkušebních vzorků či doplnění zkušebního roztoku v zásobníku se po celou předepsanou zkušební dobu nesmí cyklus rozprašování přerušit. Po provedení zkoušky se vzorky vyjmou z komory, opláchnou se čistou vodou (aby se z povrchu odstranily zbytky roztoku solí) a na zkoušeném povrchu se ihned hodnotí projevy poškození (dle ISO 4628, části 1 až 5). Pokud se požaduje i hodnocení projevů napadení podkladu, odstraní se nátěr pomocí odstraňovače nátěrových hmot, který nezpůsobuje korozi podkladového materiálu. [17]

### **Zkušební roztok a nastavení komory při Cyklu B**

Zkušební roztok pro postřík se připraví rozpuštěním chloridu sodného ve vodě (přičemž musí minimálně vyhovovat stupni čistoty 2 dle ISO 3696), aby se získala koncentrace  $(50 \pm 10)$  g/l. pH roztoku musí být v rozmezí 6,0 až 7,0.

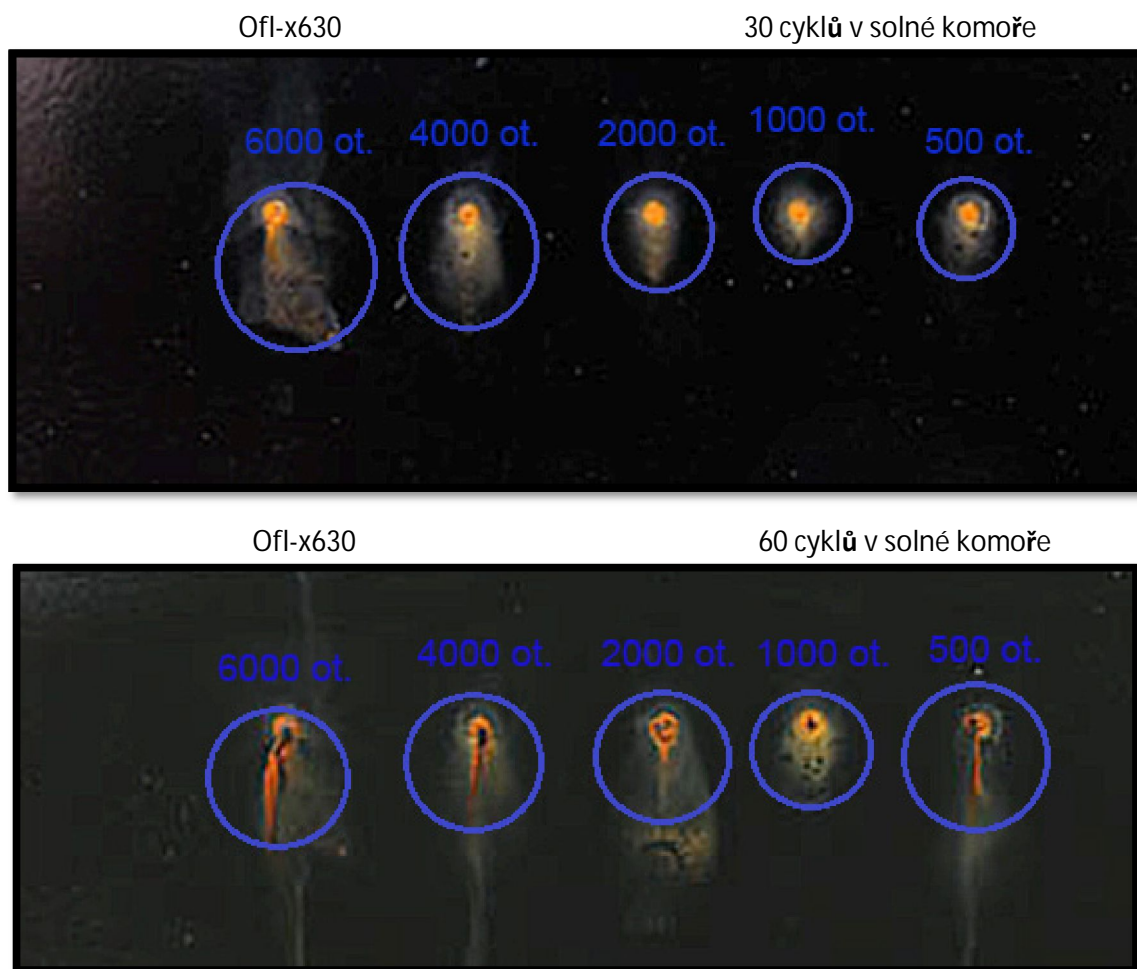
Fáze	Čas (h)	Teplota (°C)	Podmínka	Poznámky
1	24	$35 \pm 2$	Solná mlha	
2	8	$40 \pm 2$	100 % RH	Kondenzace vody na zkušebních vzorcích
3	16	$23 \pm 2$	$(50 \pm 20)$ % RH	
4	8	$40 \pm 2$	100 % RH	Kondenzace vody na zkušebních vzorcích
5	16	$23 \pm 2$	$(50 \pm 20)$ % RH	
6	8	$40 \pm 2$	100 % RH	Kondenzace vody na zkušebních vzorcích
7	16	$23 \pm 2$	$(50 \pm 20)$ % RH	
8	8	$40 \pm 2$	100 % RH	Kondenzace vody na zkušebních vzorcích
9	16	$23 \pm 2$	$(50 \pm 20)$ % RH	
10	48	$23 \pm 2$	$(50 \pm 20)$ % RH	
11	Zpět k fázi 1		Celková doba cyklu od fáze 1 k fázi 10 činí 7 dní	

**Tab. 10 Pracovní postup jednoho Cyklu B vzorku v solné komoře [17]**

Nejsou-li jiné požadavky, tak se zkušební cyklus opakuje 30krát (240 h), 60krát (480 h), 90krát (720 h) nebo 180krát (1440 h). [17]

### 5.5.1 Korozní napadení vzorku OfI-x630

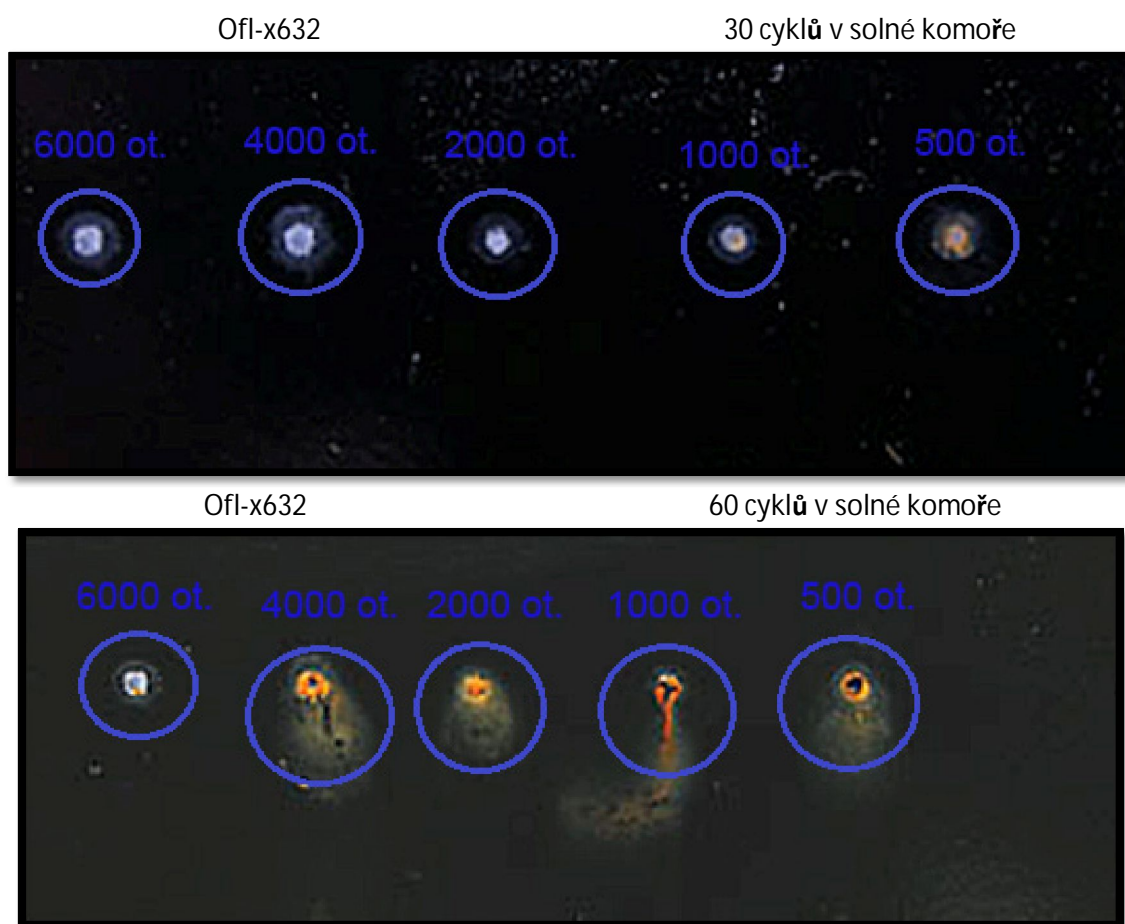
Po provedení testu otěruvzdornosti na vzorku OfI-x630 provedu na tomto vzorku cyklickou korozní zkoušku, vzorek zdokumentuji a následně zhodnotím jeho korozivzdornost.



Obr. 26 Vzorek OfI-x630 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře [11]

### 5.5.2 Korozní napadení vzorku OfI-x632

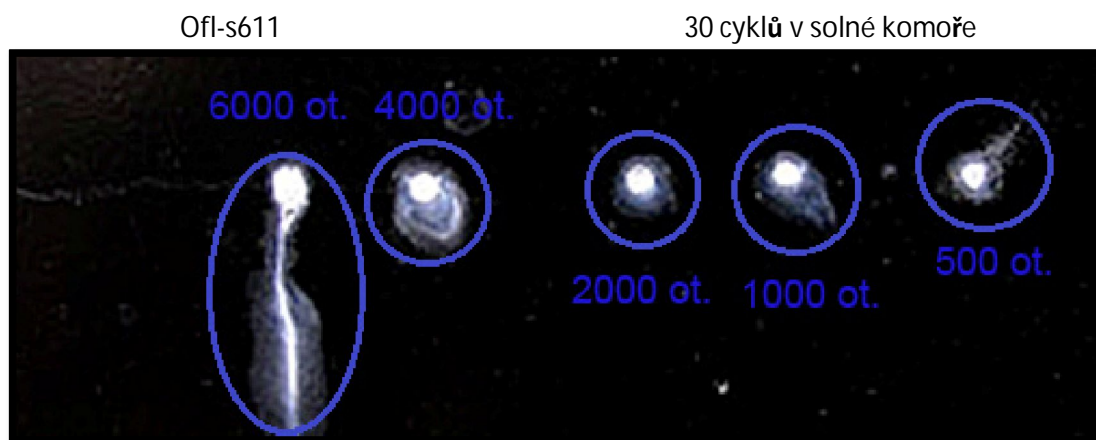
Po provedení testu otěruvzdornosti na vzorku OfI-x632 provedu na tomto vzorku cyklickou korozní zkoušku, vzorek zdokumentuji a následně zhodnotím jeho korozivzdornost.



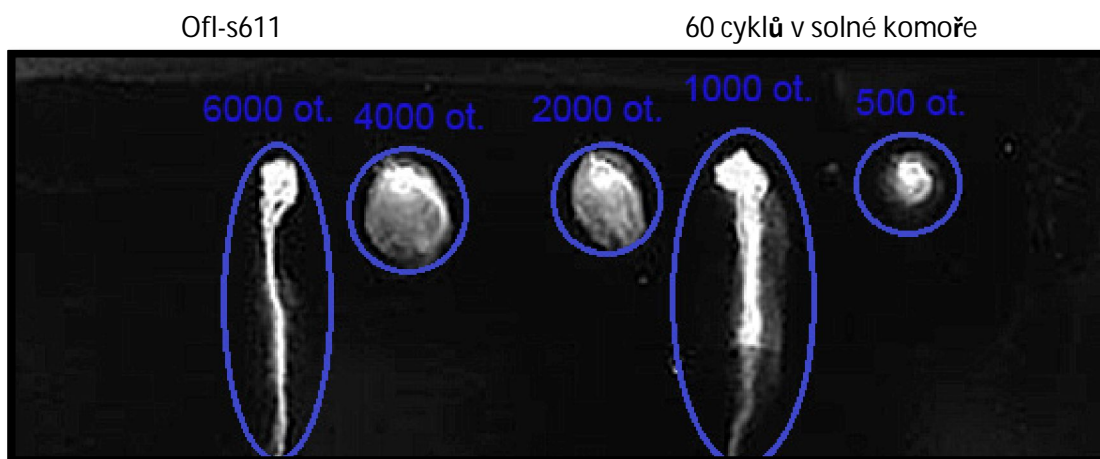
Obr. 27 Vzorek OfI-x632 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře [11]

### 5.5.3 Korozní napadení vzorku OfI-s611

Po provedení testu otěruvzdornosti na vzorku OfI-s611 provedu na tomto vzorku cyklickou korozní zkoušku, vzorek zdokumentuji a následně zhodnotím jeho korozivzdornost.







Obr. 28 Vzorek Ofl-s611 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře [11]

#### 5.5.4 Vyhodnocení testu v solné komoře

Z jednotlivých měření vzorků v solné komoře vyplývá, že největší ochranu proti korozi poskytuje vzorek **Ofl-s611**, který chrání základní materiál povlakem zinku + tenkou vrstvou pasivace (bez  $CR_6$ ) + KTL vrstvou. U tohoto vzorku nedošlo ani při 60 cyklech, ve kterých byl vzorek vystaven účinkům zkušebního roztoku, ke koroznímu napadení základního materiálu.

Na druhém místě v ochraně základního materiálu proti korozi se umístil vzorek **Ofl-x632**. Tento vzorek chrání základní materiál zinkofosfátem, elektrolyticky vyloučenou vrstvou zinku a KTL vrstvou. Při 30 cyklech v solné komoře téměř nedošlo ke korozi základního materiálu, avšak při 60 cyklech již základní materiál korodoval. Tento vzorek má tedy horší vlastnosti, než předešlý vzorek Ofl-s611.

Nejhorší výsledek v ochraně základního materiálu proti korozi má vzorek **Ofl-x630**. Ten chrání základní materiál zinkofosfátem a KTL vrstvou dle TL 260. Již při 30 cyklech, při kterých byl vzorek v solné komoře vystaven účinkům zkušebního roztoku, došlo ke korozi základního materiálu. Při 60 cyklech základní materiál korodoval ještě ve větší míře, než tomu bylo při 30 cyklech. Tento vzorek má tedy horší vlastnosti než vzorek Ofl-x632 a výrazně horší vlastnosti než vzorek Ofl-s611.

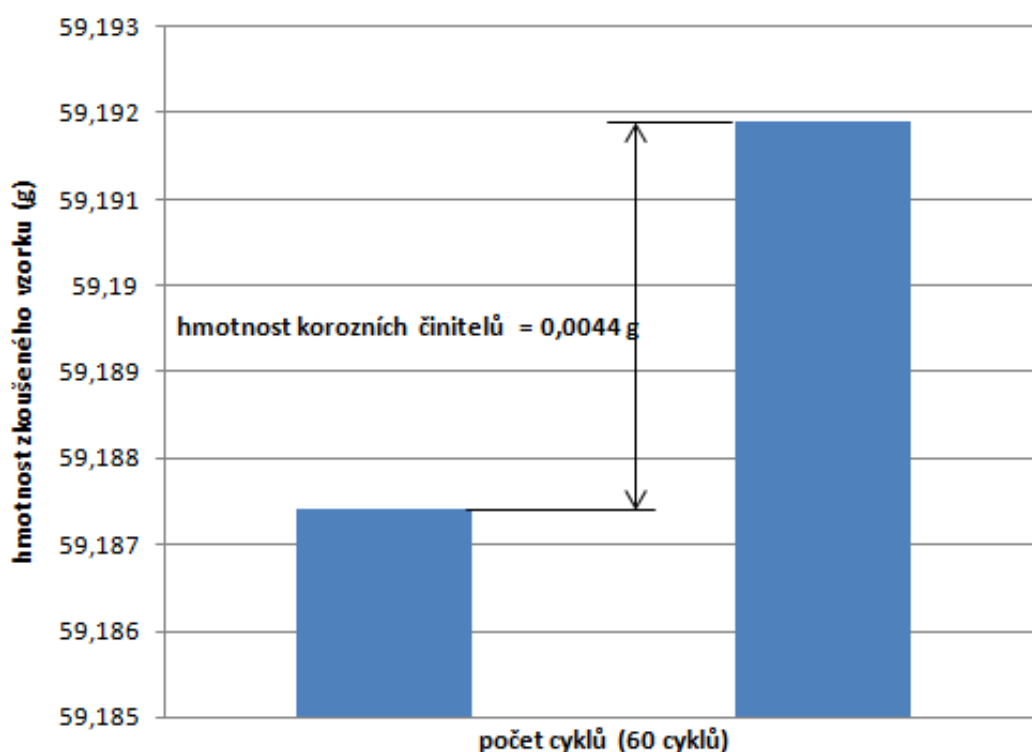
### 5.6 Hmotnostní nárůst vzorků vlivem koroze

U jednotlivých vzorků byla změřena hmotnost před započítáním cyklické zkoušky v solné komoře a po ukončení této zkoušky. Rozdílem obou hmotností dostaneme hmotnost korozních činitelů.

### 5.6.1 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x630

Hmotnost vzorku před korozní zkouškou [g]	Hmotnost vzorku po korozní zkoušce [g]	Hmotnost korozních činitelů [g]
59,1873	59,1922	0,0049
59,1875	59,1917	0,0042
59,1874	59,1916	0,0042
59,1875	59,1918	0,0043
59,1873	59,1921	0,0048
59,1875	59,1919	0,0044
59,1874	59,1918	0,0044
59,1876	59,1918	0,0042
59,1873	59,1920	0,0047
59,1874	59,1917	0,0043
Průměrné hodnoty měření		
59,1874	59,1919	0,0044

Tab. 11 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x630



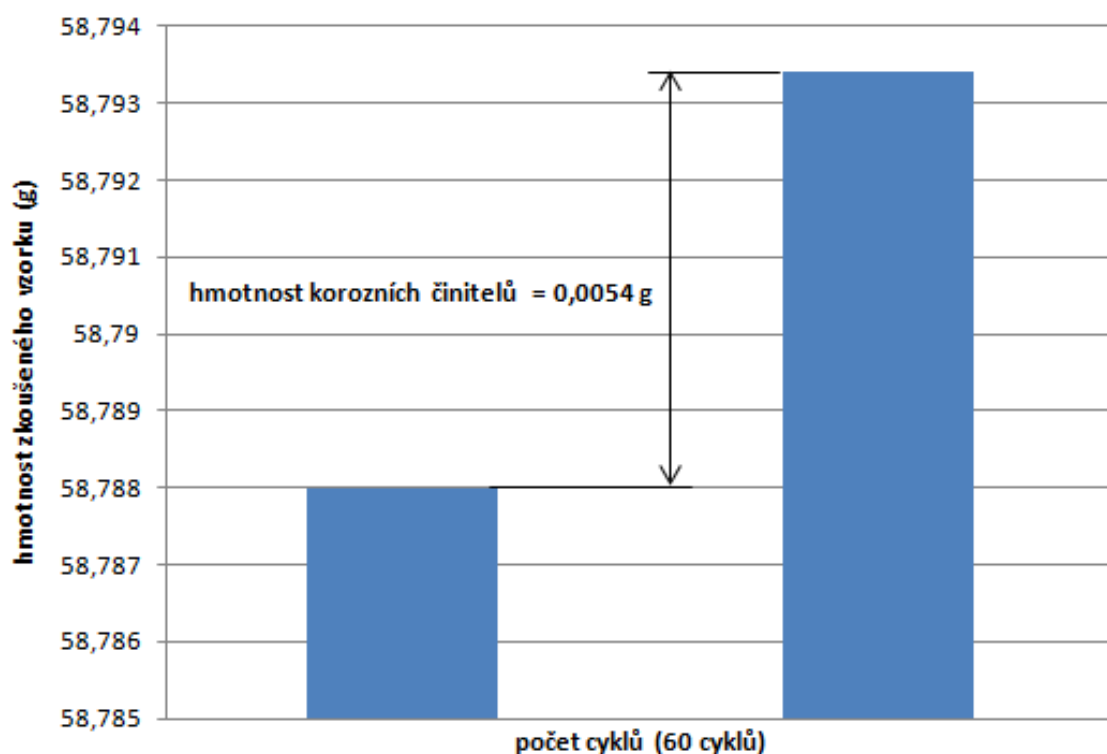
Graf 6 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku Ofi-x630



### 5.6.2 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x632

Hmotnost vzorku před korozní zkouškou [g]	Hmotnost vzorku po korozní zkoušce [g]	Hmotnost korozních činitelů [g]
58,7879	58,7933	0,0056
58,7881	58,7935	0,0056
58,7882	58,7934	0,0054
58,7880	58,7933	0,0055
58,7882	58,7936	0,0056
58,7879	58,7932	0,0055
58,7881	58,7933	0,0054
58,7880	58,7935	0,0057
58,7878	58,7934	0,0058
58,7879	58,7935	0,0058
Průměrné hodnoty měření		
58,7880	58,7934	0,0054

Tab. 12 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-x632

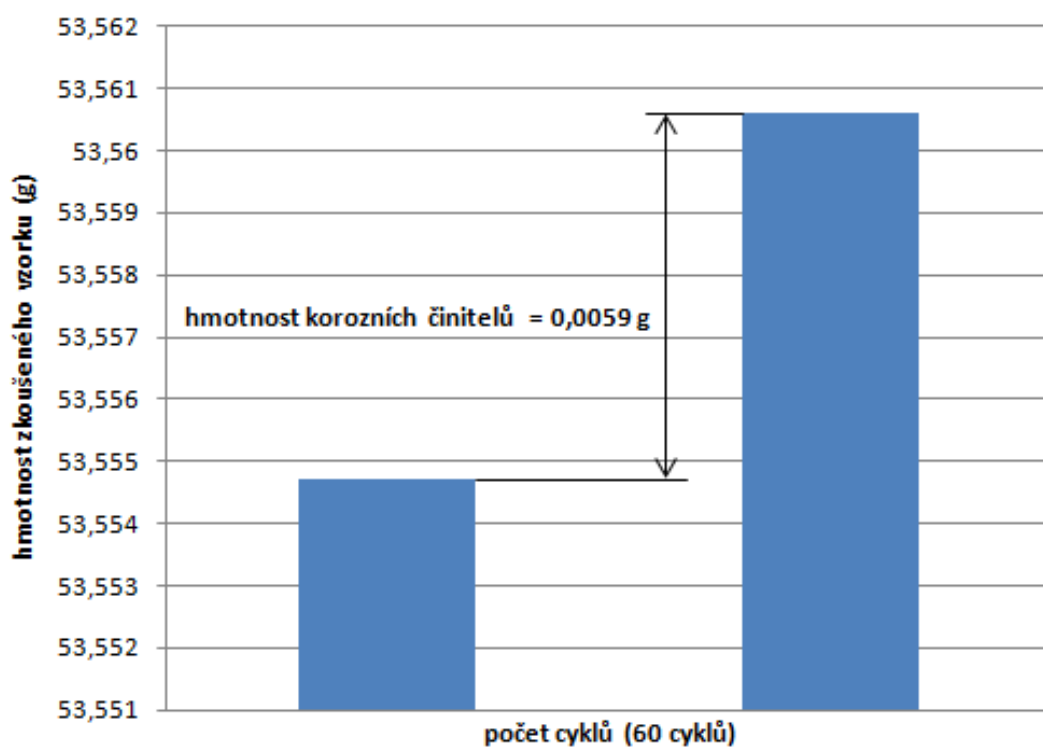


Graf 7 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku Ofi-x632

### 5.6.3 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-s611

Hmotnost vzorku před korozní zkouškou [g]	Hmotnost vzorku po korozní zkoušce [g]	Hmotnost korozních činitelů [g]
53,5546	53,5605	0,0059
53,5547	53,5609	0,0062
53,5548	53,5607	0,0059
53,5546	53,5606	0,0060
53,5545	53,5605	0,0060
53,5548	53,5607	0,0059
53,5546	53,5605	0,0059
53,5547	53,5608	0,0061
53,5546	53,5605	0,0059
53,5547	53,5607	0,0060
Průměrné hodnoty měření		
53,5547	53,5606	0,0059

Tab. 13 Hmotnostní nárůst vzorku Ofi-s611



Graf 8 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku Ofi-s611

#### 5.6.4 Vyhodnocení hmotnostních nárůstů vzorků

Vyšší korozní nárůst hmotnosti u vzorku **Ofl-s611** je způsoben přítomností zinkového povlaku pod KTL vrstvou. Ten začíná velmi brzy tvořit korozní produkty - tzv. bílou zinkovou korozi. V důsledku této koroze dochází ke zvětšení objemu zinkového povlaku, k částečné pasivaci povrchu a ochraně základního materiálu před vznikem Fe koroze.

Vzorek **Ofl-x632**, který chrání základní materiál zinkofosfátem, elektrolyticky vyloučenou vrstvou zinku a KTL vrstvou, má lepší vlastnosti než vzorek Ofl-x630, ale horší vlastnosti, než vzorek Ofl-s611.

U vzorku **Ofl-x630** (který je bez vrstvy zinku) nastává velmi brzy červená Fe koroze, protože pod KTL vrstvou je pouze tenká vrstva zinkofosfátu.

### 5.7 Kontrola tloušťky povlaku

#### 5.7.1 Příprava vzorků

Příprava vzorků probíhala metodou kolmého řezu. Nejprve byly odebrány studované vzorky, přičemž je třeba dbát především na to, aby odebíraný vzorek plně charakterizoval studovaný materiál. Vzorek byl odebrán řezáním na pile Discotom-6. Následně je odebraný vzorek preparován za tepla (tzv. zapékán). Tento proces probíhá tak, že se vzorek umístí do vyhřívané nádoby a zasype se práškem ze speciální umělé hmoty. Tato hmota se při teplotě 180 °C a tlaku 20 kN roztaví a obklopí zkoumaný vzorek. V mém případě jsem vzorek zapékal do vodivého bakelitu ConduFast. Tím je vzorek připraven na další úpravy povrchu – broušení a leštění. Cílem broušení je dosáhnout rovinného povrchu s minimálním poškozením povrchu vzorku, které odstraníme vyleštěním. Leštění je proces velmi podobný broušení, prakticky ale už nedochází k odebírání hmoty. Broušení i leštění jsem prováděl na brusce Tegrapol-35. Takto připravený vzorek je připraven na pozorování pod mikroskopem Neophot 21. Na závěr vyfotíme zkoumanou vrstvu a následně za použití programu QuickPHOTO Industrial 2.2 změříme tloušťku jednotlivých vrstev povlaku. [18]

### Použitá zkušební zařízení:



Obr. 29 Pila Discotom-6 [11]



Obr. 30 Lis pro zalévání za tepla [11]



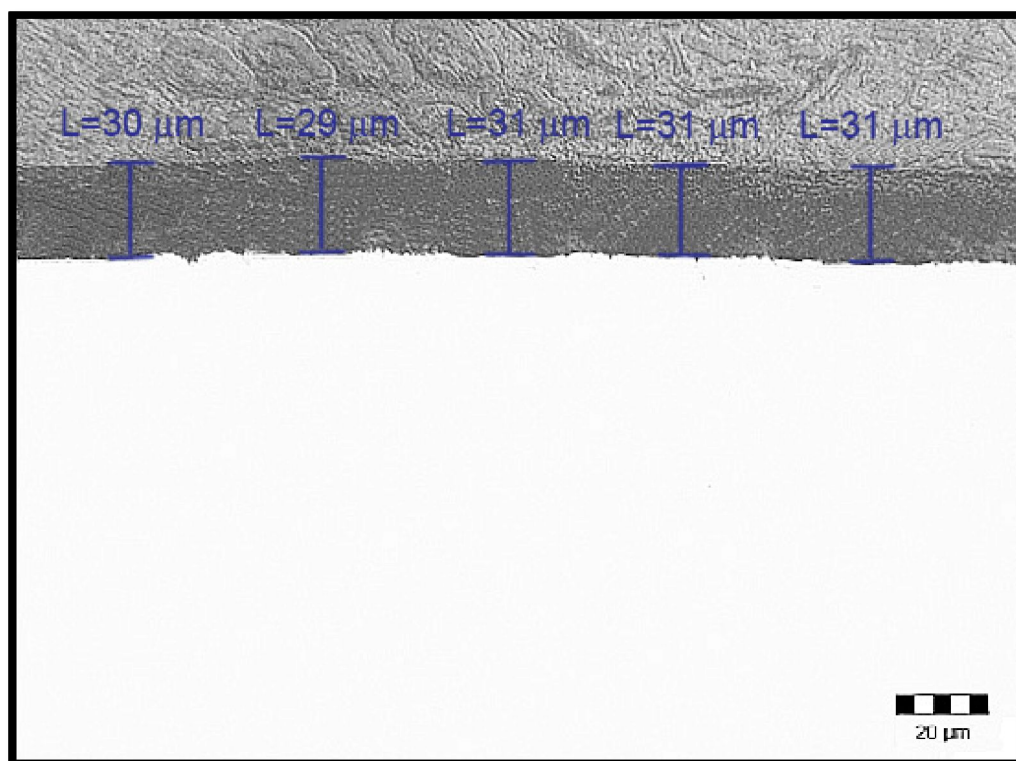
Obr. 31 Bruska Tegrapol-35 [11]



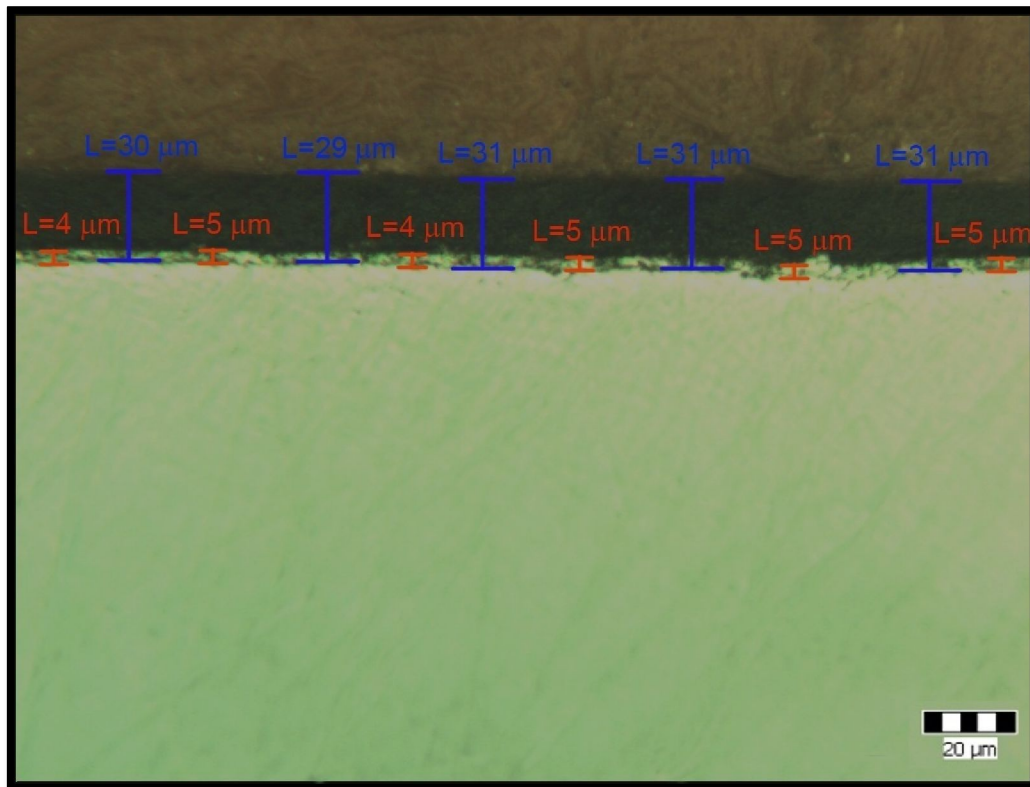
Obr. 32 Světelný mikroskop Neophot 21 [11]



### 5.7.2 Vlastní měření tloušťek povlaků jednotlivých vzorků



Obr. 33 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-x630 [11]



Obr. 34 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-x630 mikroskopem Neophot 21 [11]

### Tloušťka zinkofosfátu:

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	4	5	4	5	5	5	4	5	4	4

Průměrná hodnota tloušťky zinkofosfátu je **4,5  $\mu\text{m}$** .

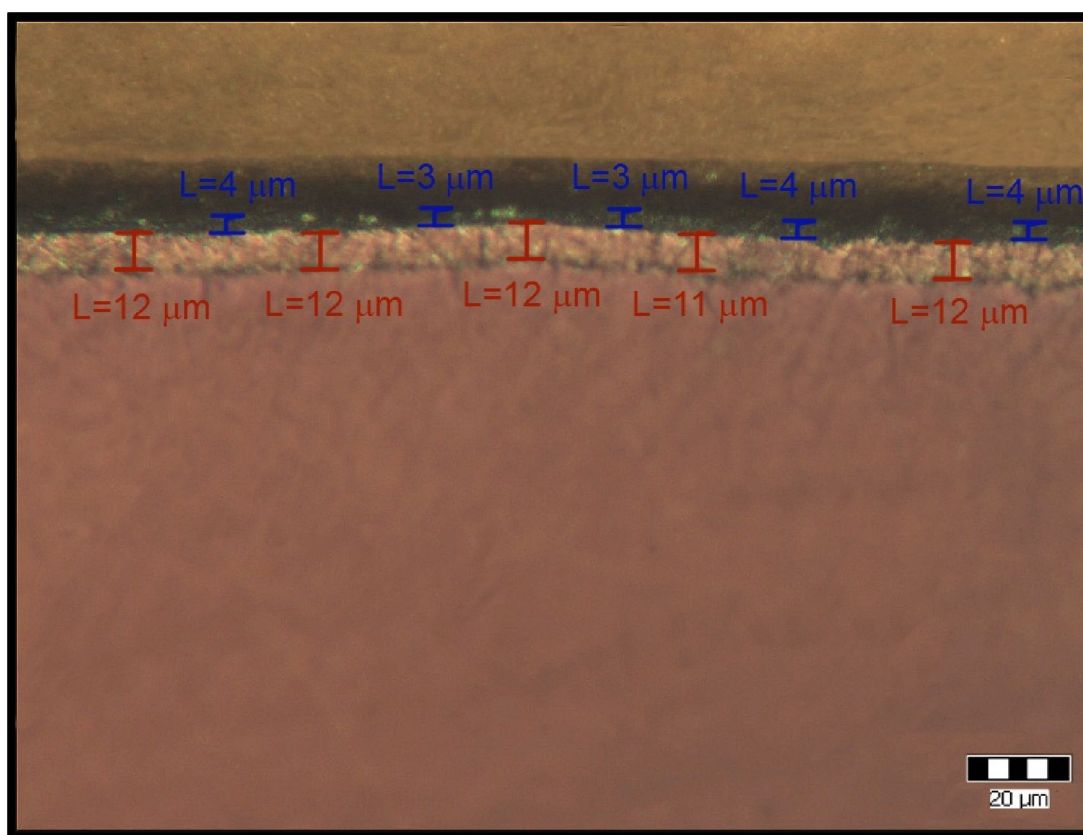
### Tloušťka povlaku KTL vrstvy + zinkofosfátu:

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	30	29	31	31	31	30	30	31	31	30

Průměrná hodnota tloušťky KTL vrstvy + vrstvy zinkofosfátu je **30,4  $\mu\text{m}$** .

### Tloušťka povlaku KTL vrstvy:

Průměrná hodnota KTL vrstvy je **25,9  $\mu\text{m}$** .



Obr. 35 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-x632 mikroskopem Neophot 21 [11]

### Tloušťka povlaku elektrolyticky vyloučeného zinku:

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	12	12	12	11	12	13	12	12	11	12

Průměrná hodnota tloušťky vrstvy elektrolyticky vyloučeného zinku je **11,9  $\mu\text{m}$** .

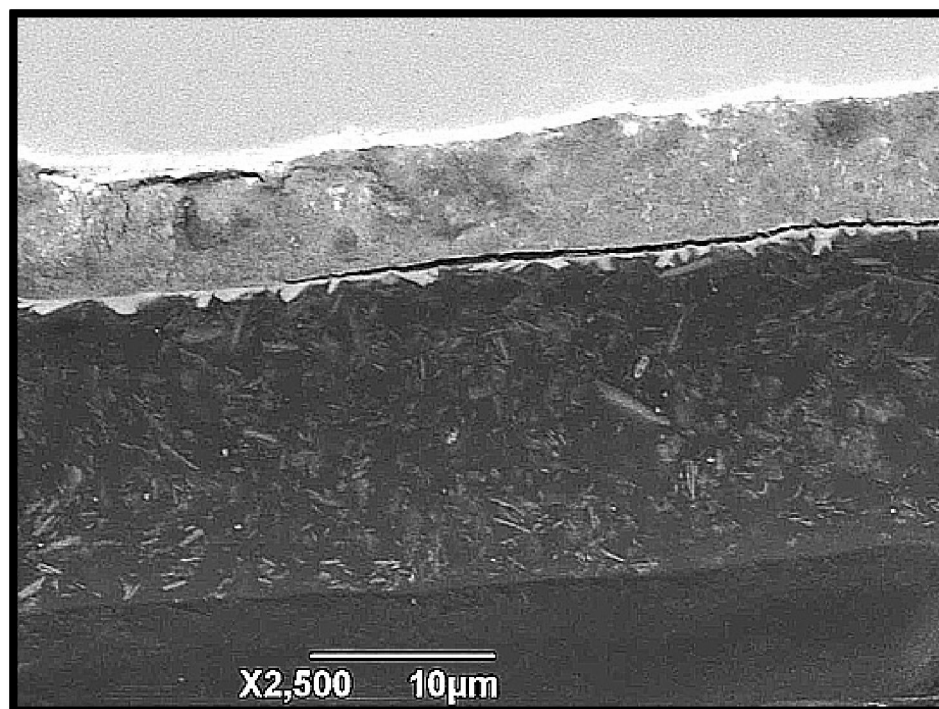
### Tloušťka povlaku zinkofosfátu:

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	4	3	3	4	4	3	4	4	5	4

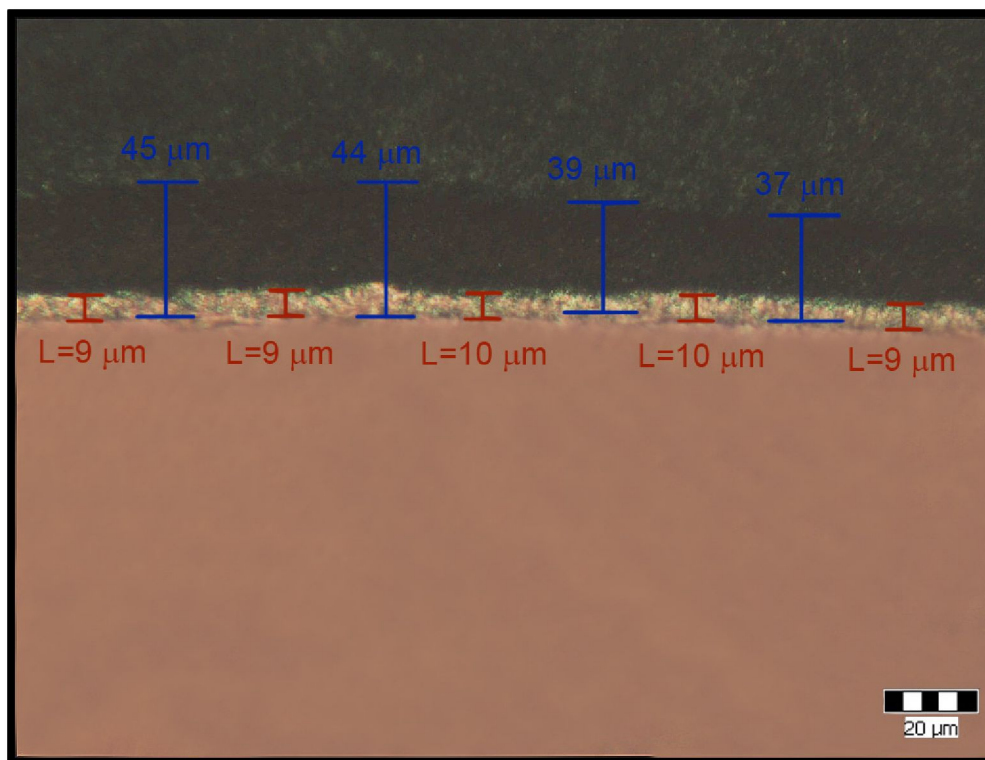
Průměrná hodnota tloušťky vrstvy zinkofosfátu je **3,8  $\mu\text{m}$** .

### Tloušťka povlaku KTL vrstvy:

Tloušťka povlaku KTL vrstvy se pohybuje od v rozmezí hodnot **10-15  $\mu\text{m}$** .



Obr. 36 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-s611 [11]



Obr. 37 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-s611 mikroskopem Neophot 21 [11]



**Tloušťka povlaku zinku:**

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	9	9	10	10	9	10	11	8	11	9

Průměrná hodnota tloušťky povlaku zinku je **9,6  $\mu\text{m}$** .

**Tloušťka povlaku KTL + povlaku zinku :**

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tloušťka povlaku [ $\mu\text{m}$ ]	45	44	39	37	38	43	37	46	44	42

Průměrná hodnota tloušťky povlaku KTL + povlaku zinku je **41,5  $\mu\text{m}$** .

**Tloušťka povlaku KTL:**

Průměrná hodnota tloušťky KTL vrstvy je **31,9  $\mu\text{m}$** .

## 6 Závěr

Ve své práci jsem se zabýval kataforetickým lakováním, které lze kombinovat s dalšími způsoby ochrany automobilových součástí. Práci jsem rozdělil do 6 kapitol. V úvodní kapitole jsem popsal metody ochrany proti korozi, srovnal výhody a nevýhody těchto metod. Ve druhé jsem se zaměřil na princip vylučování kataforetických povlaků a ve třetí teoreticky popsal postup lakování. V experimentální části jsem provedl sérii měření vzorků:

- 1) **Ofl-x630**, který chránil základní materiál zinkofosfátem + KTL vrstvou
- 2) **Ofl-x632**, který chránil základní materiál zinkofosfátem + elektrolytický vyloučenou vrstvou zinku + KTL vrstvou
- 3) **Ofl-s611**, který chránil základní materiál povlakem zinku + tenkovrstvou pasivací dle TL 217 (bez Cr<sub>6</sub>) + KTL vrstvou.

Tyto vzorky jsem nejprve vystavil mechanickému opotřebení na kulotestru. Každý vzorek byl podroben 500, 1000, 2000, 4000 a 6000 otáček kuličky. Nejlepší ochranu proti mechanickému opotřebení poskytuje ten povlak, u kterého dojde k výbrusu do nejmenší hloubky. Na základě provedených měření a zkoušek jsem došel k následujícímu závěru:

Vzorek	Počet otáček kuličky N	Průměrná hloubka kulového vrchlíku h [μm]	Průměrná hloubka kulového vrchlíku střed h <sub>1</sub> [μm]	Hodnocení vzorku
Ofl-x630	500	26,69	4,83	*
Ofl-x632		32,94	10,00	-
Ofl-s611		31,01	11,39	+
Ofl-x630	1000	34,74	5,19	*
Ofl-x632		35,24	6,59	-
Ofl-s611		34,79	12,11	+
Ofl-x630	2000	35,66	6,08	*
Ofl-x632		36,10	5,23	+
Ofl-s611		38,86	13,51	-
Ofl-x630	4000	35,45	6,53	*
Ofl-x632		40,87	9,92	+
Ofl-s611		43,80	15,83	-
Ofl-x630	6000	40,11	11,65	*
Ofl-x632		53,99	19,44	-
Ofl-s611		48,40	20,96	+

pozn.: \* nejlepší ze vzorků, + vzorek na 2. místě, - vzorek na 3. místě

Z uvedené tabulky vyplývá, že nejlepší otěruvzdornost má povlak OfI-x630, o něco horší otěruvzdornost má povlak OfI-s611 a nejhorší otěruvzdornost má povlak OfI-x632.

**V druhém experimentu** byly vzorky podrobeny cyklické korozní zkoušce v solné komoře, kde byly ponechány 30 a 60 cyklů.

Z jednotlivých měření vzorků v solné komoře vyplývá, že největší ochranu proti korozi poskytuje vzorek **OfI-s611**, který chránil základní materiál vrstvou zinku + tenkou vrstvou pasivace (bez CR<sub>6</sub>) + KTL vrstvou. U tohoto vzorku nedošlo ani při 60 cyklech, ve kterých byl vzorek vystaven účinkům zkušebního roztoku, ke koroznímu napadení základního materiálu.

Na druhém místě v ochraně základního materiálu proti korozi se umístil vzorek **OfI-x632**. Tento vzorek chránil základní materiál zinkofosfátem, elektrolytický vyloučenou vrstvou zinku a KTL vrstvou. Při 30 cyklech v solné komoře téměř nedošlo ke korozi základního materiálu, avšak při 60 cyklech již základní materiál korodoval. Tento vzorek má tedy horší vlastnosti, než předešlý vzorek OfI-s611.

Nejhorší výsledek v ochraně základního materiálu proti korozi má vzorek **OfI-x630**. Ten chránil základní materiál zinkofosfátem a KTL vrstvou dle TL 260. Již při 30 cyklech, při kterých byl vzorek v solné komoře vystaven účinkům zkušebního roztoku, došlo ke korozi základního materiálu. Při 60 cyklech základní materiál korodoval ještě ve větší míře, než tomu bylo při 30 cyklech. Tento vzorek má tedy horší vlastnosti než vzorek OfI-x632 a výrazně horší vlastnosti než vzorek OfI-s611.

**Ve třetím experimentu** jsem porovnal hmotnost před započítáním cyklické korozní zkoušky v solné komoře a hmotnost po jejím skončení. Jejich rozdílem jsem určil hmotnostní nárůst korozních produktů (viz. následující tabulka).

Vzorek:	Hmotnost před korozní zkouškou:	Hmotnost po korozní zkoušce:	Rozdíl v hmotnostech:
OfI-x630	59,1874	59,1919	0,0044
OfI-x632	58,7880	58,7934	0,0054
OfI-s611	53,5547	53,5606	0,0059

Z tohoto experimentu vyplývá, že vyšší korozní nárůst hmotnosti u vzorku **OfI-s611** je způsoben přítomností zinkového povlaku pod kataforézou. Ten začíná velmi brzy tvořit korozní produkty - tzv. bílou zinkovou korozi. V důsledku této koroze dochází ke zvětšení objemu zinkového povlaku, k částečné pasivaci povrchu a ochraně základního materiálu před vznikem Fe koroze.

Vzorek **Ofl-x632**, který chrání základní materiál zinkofosfátem, elektrolyticky vyloučenou vrstvou zinku a KTL vrstvou, má lepší vlastnosti než vzorek Ofl-x630, ale horší vlastnosti, než vzorek Ofl-s611.

U vzorku **Ofl-x630** (který je bez vrstvy zinku) nastává velmi brzy červená Fe koroze, protože pod KTL vrstvou je pouze tenká vrstva zinkofosfátu.

**V poslední části experimentu** jsem ověřil tloušťky vrstev jednotlivých povlaků mikroskopem Neophot-21. Naměřené hodnoty jsem srovnal s doporučenými hodnotami, které udává norma.

Vzorek:	Vrstva:	Průměrná naměřená tloušťka povlaku [ $\mu m$ ]	Tloušťka povlaku dle normy [ $\mu m$ ]
Ofl-x630	Zinkofosfát	4,5	5
	KTL vrstva	30,4	30
Ofl-x632	Zinkofosfát	3,8	5
	Elektrolyticky vyloučená vrstva zinku	11,9	5-12
	KTL vrstva	14,2	10-15
Ofl-s611	Zn povlak	9,6	5-12

### Celkové hodnocení jednotlivých vzorků:

Vzorek:	Zkouška otěruvzdornosti	Zkouška v solné komoře
Ofl-x630	*	-
Ofl-x632	-	+
Ofl-s611	+	*

pozn.: \* nejlepší ze vzorků, + vzorek na 2. místě, - vzorek na 3. místě

Z uvedené tabulky vyplývá, že nejlepší ochranu proti korozi a otěru poskytuje vzorek Ofl-s611, horší vzorek Ofl-x630 a nejhorší vzorek Ofl-x632.

Technologický postup (viz. kapitola 5.2.1 Tab. 2) použitý pro povlakování vzorku označeného jako **Ofl-s611** by měl být používán z hlediska nejvyšší kvality povlaku. Tento povlak splňuje všechny požadavky, které jsou na něj kladeny.

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, **doc. Ing. Františku Kristoforymu, CSc.** za jeho odbornou pomoc, ochotu a vstřícné jednání při zpracování této práce.

Současně děkuji **Ing. Xenii Ševčíkové**, která mi poskytla cenné rady a spolupracovala se mnou na experimentální části bakalářské práce.

Významným přínosem byla také návštěva firmy **Brano a.s. v Hradci nad Moravicí**, kde se mi věnoval pan **Radim Dočkal**, s nímž jsem konzultovat technologický postup kataforetického lakování, za což mu děkuji.

Firma **Brano a.s.** mi také dodala jednotlivé vzorky a provedla na nich příslušné povrchové úpravy, bez kterých by nemohla vzniknout experimentální část této práce.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům za morální podporu v průběhu celého studia.

## Seznam pramenů a literatury

- [1] **KOPEC, R.** *Fosfatisace a ochrana proti korosi : Sborník předn. z pracovního sjezdu čs. fosfatisačních techniků, spojeného s kursem o korosi a ochraně proti ní.* Praha : Průmyslové vydavatelství, 1951. str. 127.
- [2] **RED.** antikoroze.pdf. [Online] [Citace: 5. 4 2010.]  
<<http://www.schwarzmueller.cz/downloads/antikoroze.pdf>>.
- [3] **HOLOUBEK, V.** 15cz.pdf. [Online] [Citace: 5. 4 2010.]  
<<http://www.aquahard.cz/souboryeditor/15cz.pdf>>.
- [4] **WOLF, M.** *Zabezpečení dveří karosérií při lakování.* Brno : VUT-FSI, 2007. str. 44.
- [5] **KULHÁNEK, M.** *Návrh nosné konstrukce pro fotovoltaické sluneční články.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. str. 62.
- [6] **VYŠOHLÍD, V. a KREIBICH, V.** Zinkové povlaky v lakovnách. [Online] [Citace: 19. 5 2010.] <<http://www.mmspektrum.com/clanek/zinkove-povlaky-v-lakovnach>>.
- [7] **VELÍŠEK, J.** *Elektroforesa Elektroosmosa a zjevy inversní.* Praha : Přírodovědecké vydavatelství, 1952. str. 144.
- [8] **KALEDOVÁ, A.** *Technologie nátěrových hmot II.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2003. str. 392. ISBN 80-7194-555-2.
- [9] paint-finish.pdf. [Online] [Citace: 6. 5 2010.] <<http://www.dhollandia.be/paint-finish.pdf>>.
- [10] **ČERNÍN, A.** [Online] [Citace: 27. 1 2010.]  
<[http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXV\\_4\\_cl2.pdf](http://www.chemagazin.cz/Texty/CHXV_4_cl2.pdf)>.
- [11] **HAVELKA, L.** *Kataforetické lakování automobilových součástí.* Ostrava : Technická univerzita Ostrava, 2010. str. 67.
- [12] **Miko2.** Referaty.sk - Kataforetické lakovanie. [Online] [Citace: 12. 5 2010.]  
<<http://referaty.atlas.sk/ostatne/nezaradene/31837/?page=3>>.
- [13] **HETO, J.** *Optimalizace povrchového opotřebení zinkových povlaků.* Ostrava : katedra mechanické technologie, 2009. str. 50.
- [14] tenke\_vrstvy\_fel1.pdf. [Online] [Citace: 12. 5 2010.]  
<[http://www.ateam.zcu.cz/tenke\\_vrstvy\\_fel\\_1.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_fel_1.pdf)>.

- [15] **KADLEC, J.** *Metodika hodnocení vlastností duplexních povlaků*. Brno : Univerzita obrany, 2007. str. 28. ISBN 978-80-7231-266-5.
- [16] *VW 137 50 Surface Protection of Metal Parts - Surface Protection Types, Codes*. February 2005.
- [17] *ČSN EN ISO 11997-1 Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti při cyklických korozních zkouškách - Část 1: Solná mlha/sucho/vlhkost*. říjen 2006.
- [18] Metalografie 1. [Online] [Citace: 11. 5 2010.]  
<[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_metalografie\\_1/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm)>.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma linky VBD .....	14
Obr. 2 Vstup karoserie do linky VBD .....	14
Obr. 3 Ztenčování olejové vrstvy .....	16
Obr. 4 Vytlačování oleje z povrchu kovu .....	17
Obr. 5 Příčný řez na otryskaném povrchu .....	19
Obr. 6 Litinová drť .....	19
Obr. 7 Poměr rychlosti rozpouštění železa a oxidů v kyselinách .....	20
Obr. 8 Vady zinkového povlaku na oceli vlivem vodíku z moření .....	21
Obr. 9 Vliv aktivace před fosfátováním .....	24
Obr. 10 Proces fosfátování .....	26
Obr. 11 Zacelení pórů pasivací .....	27
Obr. 12 Postřik karoserie demineralizovanou vodou .....	27
Obr. 13 První fáze odvedení přebytečné vody .....	28
Obr. 14 Druhá fáze odvedení přebytečné vody .....	28
Obr. 15 Ponoření karoserie do KTL lázně .....	29
Obr. 16 Součásti chráněné kataforetickým lakováním .....	30
Obr. 17 Kulotester .....	35
Obr. 18 Detail přístroje Kulotester s popisem funkčních (pracovních) částí .....	35
Obr. 19 Schéma pracovních částí Kulotesteru .....	35
Obr. 20 Zkouška otěruvzdornosti vzorku OfI-x630 na Kulotesteru při různých otáčkách .....	36
Obr. 21 Zkouška otěruvzdornosti vzorku OfI-x632 na Kulotesteru při různých otáčkách .....	37
Obr. 22 Zkouška otěruvzdornosti vzorku OfI-s611 na Kulotesteru při různých otáčkách .....	38
Obr. 23 Schéma vtisku kuličky po zkoušce kulotestrem .....	39
Obr. 24 Měření vnějšího a vnitřního průměru pomocí softwaru QuickPHOTO Industrial .....	41
Obr. 25 Srovnání průměrných hloubek kulového vrchlíku při určitém počtu otáček.....	43
Obr. 26 Vzorek OfI-x630 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře.....	46
Obr. 27 Vzorek OfI-x632 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře.....	47
Obr. 28 Vzorek OfI-s611 po 30 a 60 cyklech testu v solné komoře .....	48
Obr. 29 Pila Discotom-6 .....	53
Obr. 30 Lis pro zalévání za tepla .....	53
Obr. 31 Bruska Tegrapol-35 .....	54
Obr. 32 Světelný mikroskop Neophot 21 .....	54
Obr. 33 Kontrola tloušťky povlaku vzorku OfI-x630 .....	55



Obr. 34 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-x630 mikroskopem Neophot 21 .....	55
Obr. 35 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-x632 mikroskopem Neophot 21 .....	56
Obr. 36 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-s611 .....	57
Obr. 37 Kontrola tloušťky povlaku vzorku Ofi-s611 mikroskopem Neophot 21 .....	57

## Seznam tabulek

Tab. 1 Specifikace zkoumaných vzorků.....	32
Tab. 2 Technologický postup povlakování vzorku OfI-x632 .....	32
Tab. 3 Technologický postup povlakování vzorku OfI-x630 .....	33
Tab. 4 Technologický postup povlakování vzorku OfI-s611 .....	34
Tab. 5 Otěruvzdornost vzorku OfI-x630 .....	39
Tab. 6 Otěruvzdornost vzorku OfI-x632 .....	40
Tab. 7 Příklad měření průměrů, ploch a obvodů vzorku OfI-x632 .....	41
Tab. 8 Otěruvzdornost vzorku OfI-s611 .....	42
Tab. 9 Zkušební cykly dle normy ČSN EN 11997-1:2006 .....	44
Tab. 10 Pracovní postup jednoho Cyklu B vzorku v solné komoře .....	45
Tab. 11 Hmotnostní nárůst vzorku OfI-x630.....	49
Tab. 12 Hmotnostní nárůst vzorku OfI-x632.....	50
Tab. 13 Hmotnostní nárůst vzorku OfI-s611 .....	51

## Seznam grafických závislostí

Graf 1 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku OfI-x630 ...	40
Graf 2 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku OfI-x632 ...	40
Graf 3 Závislost prům. hloubky kul. vrchlíku na počtu oběhů kuličky vzorku OfI-s611 ...	42
Graf 4 Porovnání průměrné hloubky kulového vrchlíku střed u všech vzorků .....	42
Graf 5 Porovnání průměrné hloubky kulového vrchlíku u všech vzorků .....	43
Graf 6 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku OfI-x630 .....	49
Graf 7 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku OfI-x632 .....	50
Graf 8 Grafické znázornění nárůstu hmotnosti vzorku OfI-s611 .....	51